



# RokaeStudio

## 用户手册

---

—

文档版本: V1.1.0

发布日期: 2022.09

## 目录

1.1	软件界面 .....	8
1.2	编程仿真 .....	8
1.3	自定义 .....	11
1.4	校准 .....	12
1.5	自由设计 .....	13
1.6	绘图区 .....	13
1.7	机器人机器人加工管理面板 .....	13
1.8	机器人控制面板 .....	15
1.9	输出面板 .....	17
1.10	调试面板 .....	17
1.11	状态栏 .....	21
2.	第二部分 功能介绍 .....	22
2.1	基础知识 .....	22
2.2	什么是工业机器人 .....	22
2.2.1	机械零点与软件零点 .....	23
2.2.2	六种坐标系 .....	23
2.2.3	机器人常见运动指令 .....	24
2.2.4	正解与逆解 .....	24
2.3	机器人基本操作 .....	24
2.3.1	导入官方机器人 .....	24
2.3.2	自定义机器人 .....	24
2.3.3	导入机构 .....	25
2.4	机器人右键 .....	25
2.4.1	回机械零点 .....	25
2.4.2	编辑 home 点 .....	25
2.4.3	创建与解除外部轴链接 .....	26
2.4.4	读取和保存关节值 .....	28
2.4.5	抓取（生成轨迹）和抓取（改变状态—无轨迹） .....	28
2.4.6	放开（生成轨迹）和放开（改变状态——无轨迹） .....	29
2.4.7	替换机器人/替换自定义机器人 .....	30

2.4.8	另存机器人.....	30
2.4.9	隐藏, 显示, 删除和重命名.....	30
2.4.10	重置软件零点.....	31
2.4.11	同步到此机构.....	31
2.4.12	设置机器人.....	32
2.4.13	修改自定义机器人.....	33
2.4.14	属性.....	33
2.4.15	基本信息.....	33
2.4.16	后置信息.....	33
2.4.17	显示设置.....	33
2.4.18	修改、导入、导出后置格式.....	34
2.4.19	设置机器人运动参数.....	34
2.4.20	几何属性.....	35
2.4.21	添加至工作单元.....	36
2.5	工具基础知识.....	37
2.5.1	工具定义.....	37
2.5.2	工具库.....	37
2.5.3	工具分类.....	37
2.5.4	导入工具.....	38
2.5.5	定义工具.....	39
2.5.6	抓取和放开.....	39
2.5.7	安装与卸载.....	39
2.6	工具右键.....	40
2.6.1	编辑 TCP.....	40
2.6.2	TCP 设置.....	40
2.6.3	编辑工具.....	42
2.6.4	替换工具.....	44
2.7	零件的定义.....	44
2.8	零件的操作.....	44
2.9	导入零件.....	44
2.10	定义零件.....	45
2.11	工件校准.....	45

2.11.1	三点校准法 .....	45
2.11.2	点轴校准法 .....	47
2.11.3	多点校准法 .....	48
2.11.4	三面校准法 .....	49
2.12	零件右键 .....	50
2.12.1	抓取（生成轨迹）和抓取（改变状态—无轨迹） .....	50
2.12.2	放开（生成轨迹）和放开（改变状态—无轨迹） .....	51
2.12.3	插入 POS 点.....	52
2.12.4	隐藏，显示，删除和重命名 .....	52
2.12.5	轨迹关联工件坐标系.....	53
2.12.6	编辑草图.....	53
2.12.7	另存零件.....	54
2.13	新建坐标系 .....	55
2.14	编辑工件坐标系.....	56
2.15	DH 坐标系.....	58
2.16	导入底座 .....	59
2.17	安装底座 .....	59
2.18	底座右键 .....	60
2.18.1	隐藏，显示，删除和重命名 .....	60
2.18.2	替换底座.....	60
2.18.3	几何属性.....	60
2.18.4	添加至工作单元.....	60
2.19	导入轨迹 .....	61
2.20	轨迹生成方式 .....	61
2.20.1	沿着一个面的一条边.....	62
2.20.2	面的环 .....	68
2.20.3	一个面的一个环.....	69
2.20.4	曲线特征.....	70
2.20.5	边 .....	71
2.20.6	打孔.....	72
2.20.7	点云打孔.....	73
2.20.8	修改步长.....	75

2.20.9	仅为直线生成首末点.....	75
2.20.10	必过连接点.....	76
2.20.11	仅为圆弧生成三个点.....	76
2.21	轨迹.....	77
2.21.1	轨迹历史.....	77
2.21.2	工艺信息.....	79
2.21.3	轨迹编辑.....	79
2.21.4	Z 轴指向 (X 轴指向) .....	79
2.21.5	添加仿真事件.....	79
2.21.6	三维球移动复制轨迹.....	80
2.21.7	轨迹投影.....	81
2.21.8	镜像复制轨迹.....	81
2.21.9	轨迹点阵列.....	82
2.21.10	按轴移动轨迹点.....	82
2.21.11	修改轨迹点指令.....	82
2.21.12	批量修改外部轴关节角.....	83
2.21.13	按轴复制轨迹.....	83
2.21.14	轨迹优化.....	85
2.21.15	轨迹旋转.....	88
2.21.16	轨迹平移.....	88
2.21.17	轨迹反向.....	89
2.21.18	Z 轴固定.....	90
2.21.19	Z 轴反向.....	90
2.21.20	X 轴反向.....	91
2.21.21	XY 轴固定.....	91
2.21.22	复制轨迹.....	91
2.21.23	轨迹往复.....	92
2.21.24	切入切出.....	92
2.21.25	生成出入刀点.....	92
2.21.26	插入 pos 点.....	93
2.21.27	进刀和过切设置.....	94
2.21.28	保存轨迹.....	95

2.21.29	输出作业.....	95
2.21.30	注释轨迹.....	95
2.21.31	取消工件关联和添加工件关联.....	96
2.21.32	合并至前一个轨迹.....	97
2.21.33	删除, 隐藏, 显示和重命名.....	97
2.21.34	创建分组.....	98
2.21.35	属性.....	98
2.22	轨迹仿真.....	101
2.22.1	仿真轨迹.....	102
2.22.2	从此轨迹开始仿真.....	102
2.22.3	单机构运动到首点和多机构运动到首点.....	102
2.23	轨迹点基础知识.....	102
2.23.1	轨迹点颜色含义.....	102
2.23.2	轨迹点操作.....	103
2.23.3	按轴移动轨迹点.....	103
2.23.4	按轴复制轨迹点 (单选/多选轨迹点).....	103
2.23.5	编辑点.....	105
2.23.6	编辑多个点.....	107
2.23.7	删除点.....	111
2.23.8	删除此点前 (后) 所有点.....	111
2.23.9	设置为起始点.....	112
2.23.10	统一位姿.....	113
2.23.11	在此点前插入 POS 点.....	113
2.23.12	单机构运动到点和多机构运动到点.....	114
2.23.13	从此点开始仿真.....	114
2.23.14	观察.....	115
2.23.15	定义偏移量变量.....	115
2.23.16	分割轨迹.....	116
2.23.17	添加仿真事件.....	117
2.23.18	批量添加抓放事件.....	123
2.23.19	删除仿真事件.....	124
2.23.20	轨迹点属性.....	124

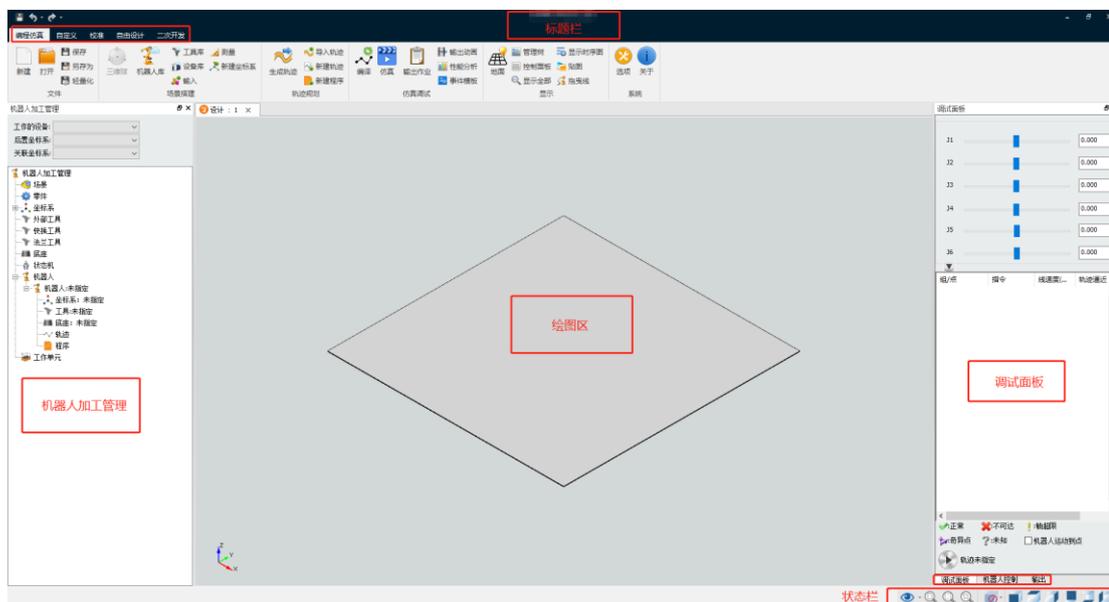
2.24	三维球 .....	125
2.24.1	三维球的结构 .....	125
2.24.2	激活三维球 .....	125
2.24.3	三维球颜色 .....	126
2.24.4	三维球的平移和旋转 .....	126
2.24.5	中心点的定位方法 .....	127
2.24.6	平移轴/旋转轴的操作方法 .....	129
2.25	基本流程 .....	130
2.25.1	场景搭建 .....	130
2.25.2	编译 .....	131
2.25.3	仿真 .....	132
2.25.4	仿真管理面板 .....	133
2.25.5	按钮作用 .....	133
2.25.6	仿真速度 .....	133
2.25.7	碰撞检测 .....	133
2.25.8	场景还原 .....	133
2.25.9	仿真轨迹情况 .....	133
2.26	后置 .....	134
2.26.1	基本后置介绍及流程 .....	134
2.26.2	输出动画 .....	137
3.	第三部分 自定义 .....	140
3.1	定义机构 .....	140
3.1.1	导入模型 .....	140
3.1.2	模型预处理 .....	140
3.1.3	定义 .....	143
3.1.4	了解基础知识 .....	144
3.1.5	坐标检查 .....	144
3.1.6	关节检查 .....	145
3.1.7	参数输入 .....	146
3.2	定义零件 .....	151
3.2.1	模型导入 .....	152
3.2.2	零件的定义 .....	152

3.2.3	场景中只有零件.....	152
3.2.4	场景中存在机器人和工具 .....	153
3.3	定义工具 .....	157
3.3.1	基础知识 .....	157
3.3.2	名词解释 .....	157
3.3.3	三种工具 .....	157
3.3.4	定义流程 .....	158
3.3.5	导入工具的三维模型.....	158
3.3.6	添加点并编辑附着点.....	158
3.3.7	法兰工具 .....	159
3.3.8	添加点 FL.....	159
3.3.9	添加点 TCP.....	161
3.3.10	快换工具.....	162
3.3.11	添加点 CP.....	163
3.3.12	给工具夹爪添加 TCP0.....	165
3.3.13	给工具笔添加点 TCP1.....	166
3.3.14	外部工具.....	167
3.3.15	添加点 TCP .....	167
3.3.16	添加附着点 FL 和 TCP.....	168
3.3.17	添加状态.....	169
3.4	定义底座 .....	171
3.4.1	导入模型 .....	171
3.4.2	定义底座 .....	172

## 第一部分 软件简介

### 1.1 软件界面

总的来说，软件界面主要分为八大部分：标题栏、菜单栏（机器人编程、工艺包、自定义）、绘图区、机器人加工管理面板、调试面板、机器人控制面板、输出面板和状态栏等。



图示：软件界面

- **标题栏**：显示软件名称和版本号
- **菜单栏**：涵盖了软件的基本功能，如场景搭建、轨迹生成、仿真、后置、自定义等，是最常用的功能栏；
- **绘图区**：用于场景搭建、轨迹的添加和编辑等；
- **机器人加工管理面板**：由九大元素节点组成，包括场景、零件、坐标系、外部工具、快换工具、底座、状态机、机器人以及工作单元等，通过面板中的树形结构可以轻松查看并管理机器人、工具和零件等对象的各种作；
- **机器人控制面板**：控制机器人六个轴和关节的运动，调整其姿态，显示坐标信息，读取机器人的关节值，以及使机器人回到机械零点等；
- **调试面板**：方便查看并调整机器人姿态、编辑轨迹点特征；
- **输出面板**：显示机器人执行的动作、指令、事件和轨迹点的状态；
- **状态栏**：包含快速隐藏/显示机器人、工具等场景，场景绘制样式和视向等功能。

### 1.2 编程仿真

机器人编程，可进行场景搭建、轨迹设计、模拟仿真和后置生成代码等操作，包括“文件”“场景搭建”“轨迹规划”“仿真调试”“显示”等六个功能分栏。

## 【文件】

文件的新建、打开和保存。打开和保存的文件均为工程文件 robx。



图示：文件菜单栏

- ◎新建：创建空白工程文档。
- ◎打开：打开已存在的工程文件。
- ◎保存：保存当前工程文件到指定位置。若是已有保存记录的文件，默认保存到原位置。若是新建文件，保存时则会弹出对话框，选择保存位置。
- ◎另存为：将当前文件另存到指定位置。
- ◎轻量化：将模型简化，仿真更加顺畅。

## 【场景搭建】

一般情况下绘图区为空，需要先导入工作设备和执行对象，包括机器人、工具、零件、底座、状态机等，即进行场景搭建。



图示：场景搭建菜单栏

- ◎机器人库：用于导入官方提供的机器人。
  - 插入官方机器人模型：单击“下载/插入”按钮即可插入机器人模型；单击机器人图片，可查看机器人的具体参数，包括轴数、负载、工作区域等，同时“看了又看”中推荐出相似参数的机器人型号
  - 本界面采用网页形式，机器人型号的筛选、搜索和排序。
- ◎工具库：用于导入官方提供的工具。导入工具之前，先导入机器人，工具格式为 robt。与机器人库相似，工具库支持筛选、搜索和排序。
- ◎设备库：用于导入官方提供的零件、底座、状态机等。其中，零件包括场景零件和加工零件。场景零件用来搭建工作环境，加工零件是机器人加工的对象，设备库同样支持进行筛选、搜索和排序。
- ◎输入：支持多种格式的文件导入到软件环境中。目前支持的格式包括：

Alias Mesh (\*.obj)  
 BREP format (\*.brep \*.brp)  
 Binary Mesh (\*.bms)  
 IGES format (\*.iges \*.igs)  
 Inventor V2.1 (\*.iv)  
 Jupiter Tessellation V8.0-V9.5 (\*.jt)  
 Object File Format Mesh (\*.off)  
 STEP with colors (\*.step \*.stp)  
 STL Mesh (\*.stl \*.ast)  
 Stanford Triangle Mesh (\*.ply)  
 VRML V2.0 (\*.wrl \*.vrml \*.wrz \*.wrl.gz)  
 All files (\*.\*)

图示：软件支持的模型格式

\*列表中涵盖了众多市场上流行的 3D 绘图软件所制作的模型格式，如 CATIA，Solidworks 等。

◎**测量**：用于测量场景中的距离或者半径直径。

### 【轨迹规划】

初步生成机器人运行的路径和程序，包括进行机器人的路径规划。



图示：轨迹规划菜单栏

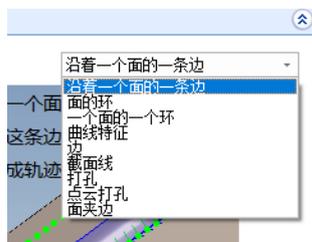
◎导入轨迹：导入其他软件中生成的轨迹。

\*导入轨迹之前先导入机器人。

软件目前支持的轨迹文件格式有 aptsource，cls，nc，afply 和 robpath。

◎生成轨迹：用于生成机器人工作的轨迹，即机器人运动的路径。

九种生成轨迹的方式：沿着一个面的一条边；面的环；一个面的一个环；曲线特征；边；截面线；打孔；点云打孔，面夹边



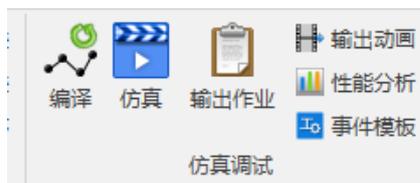
图示：9 种轨迹生成方式

◎新建程序：添加新程序，在空白的程序文档中输入程序代码，然后实现真机运行。

◎新建轨迹：新建一条空白轨迹（不含轨迹点）。

## 【仿真调试】

模拟仿真机器人运动过程和状态，Web 动画观看机器人运行，生成后置代码等。



图示：仿真调试菜单栏

- ◎仿真：形象逼真地模拟真实环境中机器人的运动路径和状态。
- ◎后置：用于生成机器人可执行的代码语言，可以拷贝到示教器控制真机运行。
- ◎输出动画：将机器人运动轨迹输出为动画。
- ◎编译：获悉轨迹点状态。
- ◎性能分析：可以观察机器人的运动状态参数。
- ◎事件模板：用来对自定义事件写后置代码，用来输出。

## 【显示】

控制场景中所有设备、机器人加工管理面板、机器人控制面板、调试面板和输出面板等的显示和隐藏；控制时序图的显示与隐藏；为模型贴图等。



图示：显示菜单栏

- ◎管理树：控制[机器人加工管理面板](#)和[设计环境面板](#)的显示或隐藏。
- ◎控制面板：控制[调试面板](#)、[输出面板](#)和机器人控制面板的显示或隐藏。
- ◎显示全部：将绘图区中隐藏的模型对象全部显示出来。
- ◎显示时序图：显示所有机构的时序顺序。
- ◎贴图：将所选图片以指定的角度粘贴到目标模型上。
- ◎拖曳线：来显示机器人关节的运动路径。

## 【系统】

关于里面有关于软件以及账户的信息。



图示：系统菜单栏

- ◎关于：介绍软件版本号及账号的相关信息。
- 注销：退出当前账号；
- 切换账户：使用其他账户登陆软件；（只能退出重新登陆）
- ◎选项：控制轨迹点、轨迹点姿态和序号、轨迹线、轨迹间连接线、TCP 等的显示和隐藏。

## 1.3 自定义

软件支持但不限于自定义机器人、运动机构、工具、零件、底座、后置以及状态机，可以依据您的需求开发其他自定义功能，基本可以满足各种需求。



图示：自定义菜单栏

- ◎输入：软件支持多种不同格式的模型文件（同机器人编程里面的输入功能）；
- ◎导入机器人：导入自定义的机器人，支持的文件格式为 robcr；
- ◎[定义机构](#)：定义 1~N 轴的运动机构（机器人，状态机，导轨等）；
- ◎[定义工具](#)：定义法兰工具、快换工具、外部工具；
- ◎[定义零件](#)：将各种格式的模型定义为 robp 格式的零件；
- ◎[定义底座](#)：将各种格式的模型定义为 robs 格式的底座；
- ◎自定义后置：用户自定义自家机器人的后置格式；
- ◎定义状态机：将各种格式的模型定义为 robm 格式的状态机。

## 1.4 校准



图示：校准功能

**说明：**工件校准，确保软件的设计环境中机器人与零件的相对位置与真实环境中两者的相对位置保持一致。校准方法有五种：三点校准法、点轴校准法、多点校准法、三面校准法以及新建工件坐标系。

这里的校准功能还可以对外部工具进行校准，方法与校准工件完全一致。

- **三点校准法：**通过拾取三个尖点来校准零件/外部工具相对于机器人的位置。
- **点轴校准法：**通过拾取一个轴和一个点来校准零件/外部工具相对于机器人的位置，一般用来校准没有足够数目尖点（小于 3）的零件。
- **多点校准法：**机器人工具 TCP 点，通过示教器人工操作，接触被测圆孔端面上均布的一些点，每个圆孔至少要采集三个点以上的数据点。
- **三面校准法：**机器人工具 TCP 点，通过示教器人工操作，接触被测平面，每个面至少要采集三个点以上的数据。

### ■ 目前，工件校准有三种情况：

- 一，工件在机器人的外部，与机器人无接触，此时应选择基坐标系；
- 二，机器人手持工件，配合外部工具，此时应选择法兰坐标系。
- 三，工件保持不动，机器人相对工件进行移动（此功能一般用于多机器人校准）。

三种场景的校准原理、校准步骤都是完全相同的，只有坐标系选择上的区别。

## 1.5 自由设计

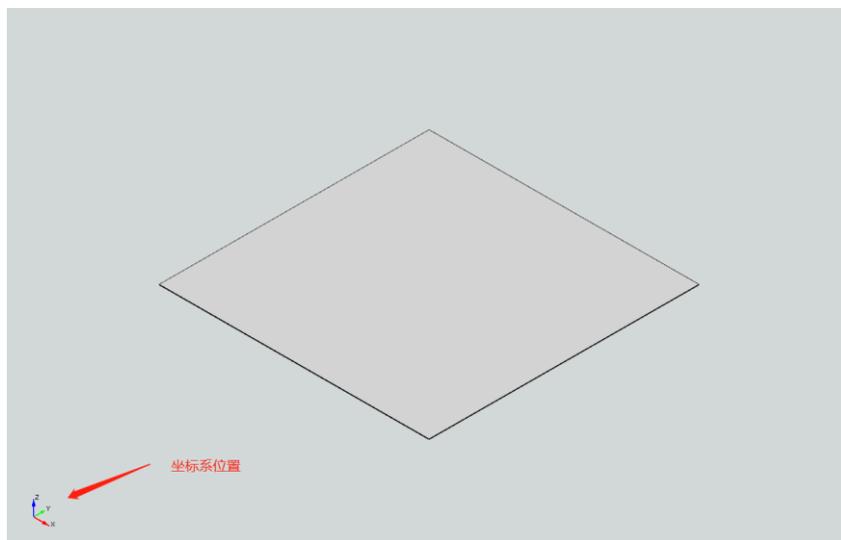
此模块可以自己进行绘制轨迹以及找到管道的中心。



图示：自由设计菜单栏

## 1.6 绘图区

绘图区为软件界面中心的区域，用于场景搭建和轨迹的添加、显示和编辑等。导入的对象和对对象的各种操作，只要没有选择隐藏的，都会显示在绘图区中。



图示：绘图区

左下角的坐标系表示绘图区中模型的位置。

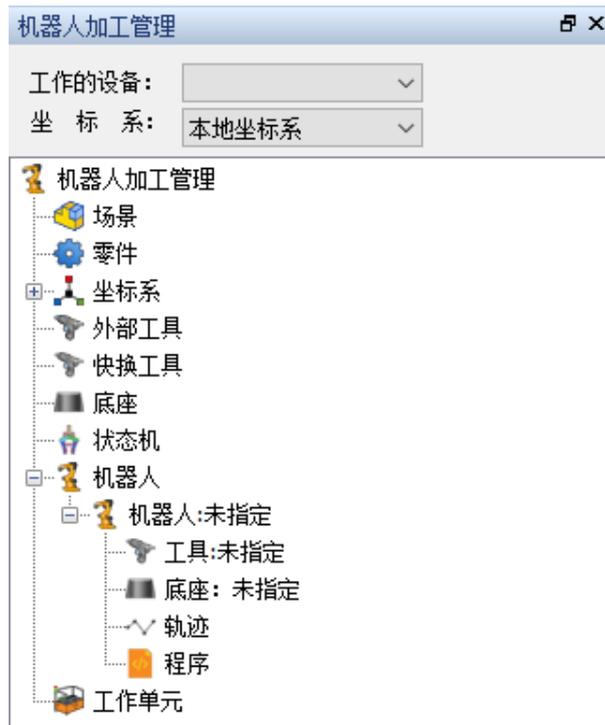
## 1.7 机器人加工管理面板

机器人加工管理面板主要是全局浏览软件中所有模型和操作，使所有目标对象方便管理、简便操作以及直观清晰地查看。

**位置：**位于软件界面左侧。

**说明：**面板下挂有八个节点，包括场景、零件、坐标系、外部工具、快换工具、状态机、机器人以及工作单元等。机器人下还有工具、底座、轨迹和程序等子节点。

点开  查看该条目下的子节点；点击  收起子节点列表。



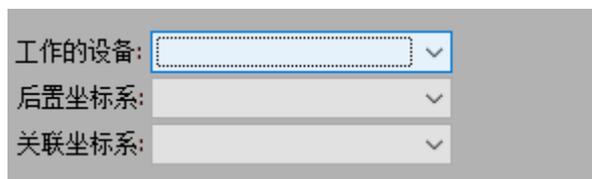
图示：机器人加工管理面板

一般来说,每个子节点的右键菜单中都包括了该对象的所有操作,快捷方便地执行多种指令。如“程序”下的子节点“RaMain”,右键菜单中包含了多种功能指令。



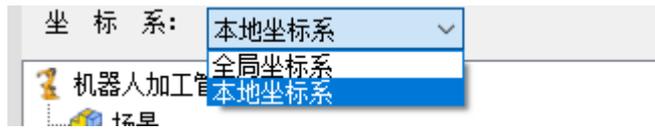
图示：“程序”树形图

**【工作的设备】** 选择处于工作状态的设备（机器人）。



图示：选择当前工作设备

**【坐标系】** 通过该功能,选中工具的三维球的朝向,可以在自身坐标系朝向和参照全局坐标系朝向之间进行自由切换。



图示：选择参考坐标系

## 1.8 机器人控制面板

此面板控制机器人的关节运动，调整其姿态，读取机器人的关节值，以及使机器人回到机械零点。

**位置：**位于软件界面右侧。

**说明：**机器人控制面板分为机器人空间和关节空间两个部分。

**机械零点：**机器人出厂时的初始姿态。



图示：机器人控制面板

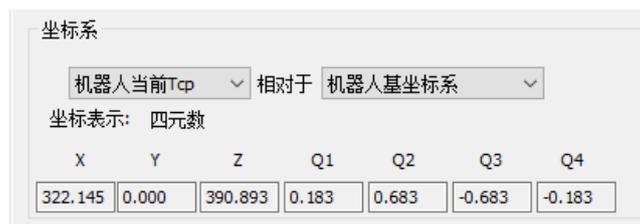
● 机器人空间：模拟示教器控制机器人。



图示：机器人空间

\*坐标一般用欧拉角来表示。

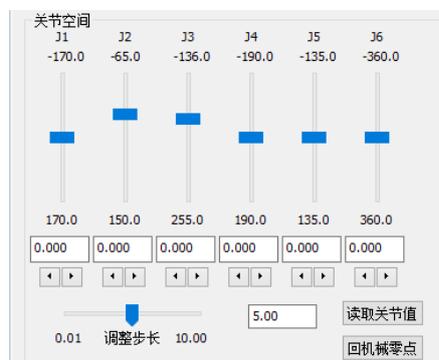
- ◎**平移**：利用  和  控制机器人向 X（前后）Y（左右）Z（上下）等方向平移；
- ◎**旋转**：利用  和  控制机器人以 XYZ 三个方向为中心旋转；
- ◎**坐标表示**：根据机器人品牌来确定用[欧拉角](#)来表示。
- ◎**相对坐标系**：方便的查看机器人末端 FL、工具 TCP ，相对不同的参考坐标系，实时显示出相对位置数值，以便作为参考依据。



图示：坐标系

- ◎**工具坐标系**：以工具坐标系的原点来确定机器人的位置。
- ◎**调整步长**：这里步长指的是机器人平移/旋转运动幅度的大小，从 0.01 到 10 幅度依次加大。

●**关节空间**



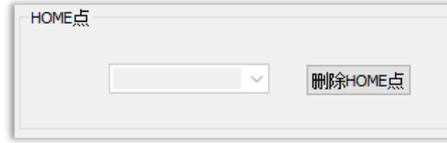
图示：关节空间

- ◎  上下移动调整机器人的关节角度值，具体数值显示在  中。

其中，±170，-65~150 等为六个轴的活动范围。   减小或增大某个轴的关节角，数值

改变间隔即为步长。如设定步长为 5.00, J1 的关节角度初始值为 90。点击  增加关节角, 则数值会变为 95。

## ●HOME 点



此空间用来显示已保存的 HOME 点，还可以删除 HOME 点。

## 1.9 输出面板

**位置：**位于软件界面右侧。

**说明：**仿真功能模拟的是机器人在实际环境中的运动路径和状态。仿真时，输出面板会显示出机器人执行的事件和命令，以及有问题的轨迹点。

双击输出面板中的提示事件，机器人姿态会更改到事件被执行时的状态。



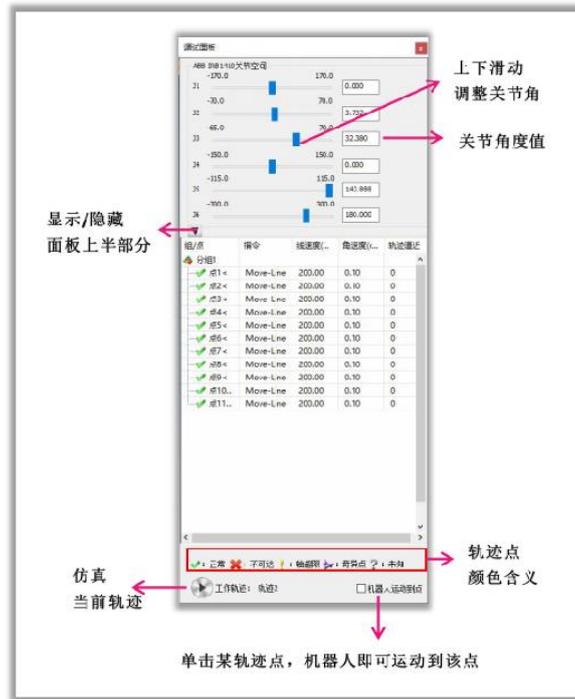
图示：输出面板示意图

同时，面板会输出有问题的轨迹点，如上图所示轴超限的轨迹点。出现这种情况后，需要对轨迹点的姿态进行调整，详细的调整方式详见[轨迹编辑](#)。

## 1.10 调试面板

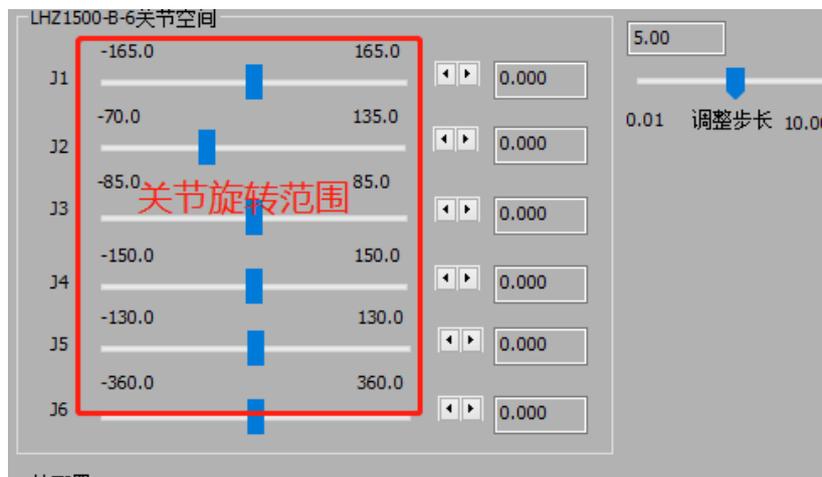
**位置：**位于软件界面右侧。

**说明：**调试面板与机器人姿态和轨迹点特征紧密联系。



图示：调试面板

● 该面板用于调试机器人的关节角，改变机器人的姿态。



图示：调试机器人关节角

J1 J2 J3 J4 J5 J6 分别代表机器人的一轴、二轴、三轴、四轴、五轴和六轴。

其中，红色框内分别表示每个关节的旋转角度范围，通过小滑块上下移动，在这六个范围内改变六个轴的关节角度值，右侧有一个调整步长按钮，是可以控制每次调节的关节值大小。

● 更改轨迹点的运动指令、速度和轨迹逼近值，并且显示出机器人在该轨迹点执行的事件。

组/点	指令	线速度(...)	角速度(r...	轨迹逼近
分组1				
✓ 序号1	Move-Line	200.00	0.10	0
✓ 序号2	Move-Line	200.00	0.10	0
✓ 序号3	Move-Line	200.00	0.10	0
✓ 序号4	Move-Line	200.00	0.10	0
✓ 序号5	Move-Line	200.00	0.10	0
✓ 序号6	Move-Line	200.00	0.10	0

图示：调试面板示意图

◎**轨迹点的指令**：包括 Move-Line, Move-Joint, Move-AbsJoint 三种

\***Move-Line**：机器人以线性移动方式运动至目标点，当前点与目标点二点为一条直线，机器人运动状态可控，运动路径保持唯一。

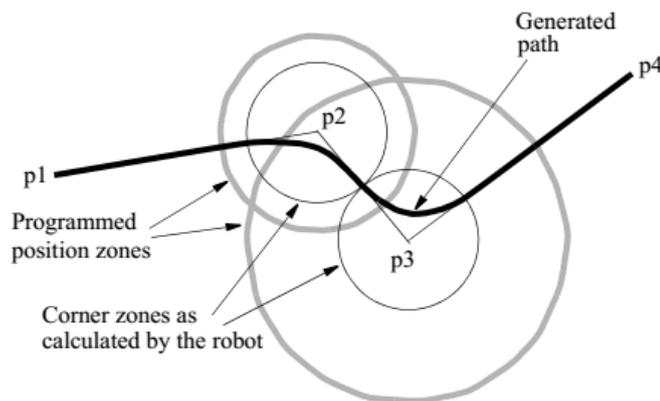
\***Move-Joint**：关节运动指令，表示的是机器人做关节运动，按照关节角度值来达到指定的点。机器人以最快捷的方式运动到目标点，机器人运动状态不完全可控，但运动路径保持唯一，常用于机器人在空间大范围移动。

\***Move-AbsJoint**：绝对运动指令，按照角度指令来移动。

◎**轨迹点的速度**：轨迹点（轨迹/机器人）在真机环境中的运动速度，单位为 mm/s, 可生成后置代码导入示教器中。

◎**轨迹逼近**：轨迹的平滑圆弧过渡。有时机器人运动到某个轨迹点时会暂停，即速度为 0。该指令可以防止机器人在该点出现精确暂停，让其形成一个抛物线的轨迹，即实现圆弧过渡。

如图示，机器人从 P1 运动到 P2 到 P3，再到 P4。



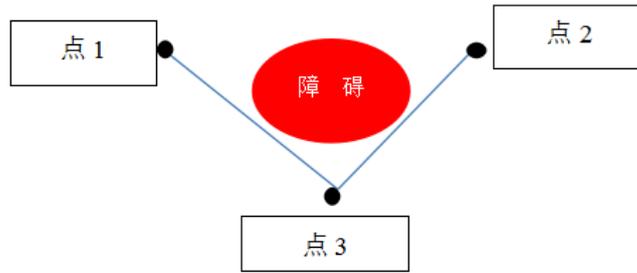
图示：轨迹逼近

以上图为例，轨迹逼近值上限为 p2p3 距离的一半。

机器人运动到点 2、点 3 时速度为 0。这时设定【轨迹逼近】的数值为 8mm，那么机器人的运动路径为黑色曲线，绕过了 P2 和 P3。

❖ **注意**：若要求机器人必须运动到点 2 或者点 3，就不能用该指令。

另外，若原轨迹是从点 1 到点 2，两点之间有障碍物，可以插入一个点 3，然后使用轨迹逼近，可使机器人连续运动，如下图：



图示：轨迹逼近应用场景

- 对当前选中的轨迹直接仿真。



点击  出现仿真管理面板，执行仿真操作。同时面板上还显示出了该条轨迹的名称。

- 使机器人运动到某个点。

机器人运动到点

勾选面板中的“机器人运动到点”后，只需单击目标点即可让机器人运动到改点。

- 查看五种不同轨迹点颜色的含义。

✔：正常 ✘：不可达 !：轴超限 ✨：奇异点 ?：未知

- ◎绿色：表示该轨迹点是完全正常的；
- ◎黄色：表示轴超限，机器人的运动超过了某个关节的运动范围；
- ◎红色：表示不可达点，机器人距离目标太远，此时需要调整机器人与工件或外部工具的距离；
- ◎灰色：表示不知道该轨迹点的当前状态；
- ◎紫色：表示奇异点。

### 什么是奇异状态和奇异点？

奇异状态：一般指工业机器人机器手臂出现的运动故障，指的是在该状态下失去了一些运动自由。就像人的手一样，如果手臂完全伸直就不能让手再伸向手臂所指的方向。而没有伸直时，手是可以往各个方向运动的，这就是一种奇异状态。而奇异点就是造成机器人出现奇异状态的点。

如下图，机器人的2轴和3轴产生了奇异点：



图示：机器人奇异状态

## 1.11 状态栏

状态栏包括视向、模型绘制样式等功能，并有功能提示。  
包括以下按钮：



图示：状态栏

- (1)  快速隐藏或显示机器人、工具、零件等场景模型；
- (2)  意思是显示全部。点击该按钮后，所有导入的模型都会显示在绘图区；
- (3)  意思是将选中的部分区域，进行局部放大。
- (4)  将选中的模型放大到视野中心；
- (5)  包含了五种模型的绘制样式，不同样式会有不同的模型绘制效果；

- (6) 

七个按钮分别为六不同的视向：轴侧图，前视图，顶视图，右视图，后视图，底视图，左视图，对应 1, 2, 3, 4, 5, 6 数字键。

## 2. 第二部分 功能介绍

### 2.1 基础知识

机器人是一个泛称，囊括的面很广。下面讲解的主要针对工业行业使用的机器人，简称为工业机器人。

### 2.2 什么是工业机器人

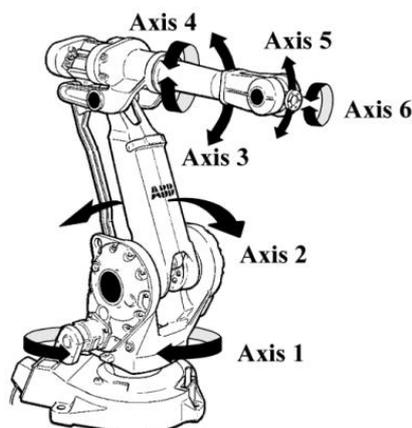
**概念：** 工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器装置，它能自动执行工作，是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。它可以接受人类指挥，也可以按照预先编排的程序运行，现代的工业机器人还可以根据人工智能技术制定的原则纲领行动。

#### 常见种类：

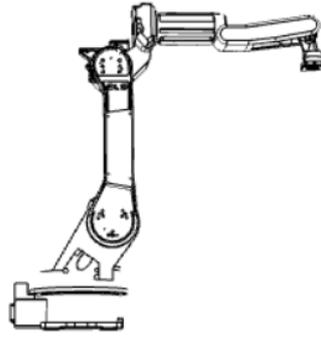
工业机器人的典型应用包括焊接、刷漆、组装、采集和放置（例如包装、码垛和 SMT）、产品检测和测试等；所有的工作的完成都具有高效性、持久性、速度和准确性。它可以协助或取代人类完成一些重复性、危险性，或者人类无法完成的工作。目前，它已经在日常生产、生活中大量使用。

下面依据机器人关节个数、关节的构造，简单说明三种比较常见的机器人：

**通用六轴机器人：** 六轴机器人是由六个串联轴组成的。所谓的串联，即一轴关联二轴，二轴关联三轴，它们之间是互相影响的。下图所示的是机器人的六个轴。



**非球型机器人：** 与通用六轴机器人相比，非球型机器人四五六轴的旋转中心不交于一点，如 MOTOMAN-MA1900。



## 2.2.1 机械零点与软件零点

**机械零点：**机器人每个轴的机械位置与电气位置一致时机器人的位姿，即出厂时厂家设定的机器人初始姿态。

**电气位置：**各关节轴电机的起始位置。

**软件零点：**示教器上把所有关节归零时的关节角（软件中无法更改软件零点）。

**机械零点和软件零点的关系：**出厂时厂商会有一组机械零点的数值，我们收货后将机器人各轴槽对槽后，在示教器上零点标定界面点击确定，即可将厂商机械零点数值与实际位姿绑定；此时再将各轴关节角调零，即为软件零点位姿。

## 2.2.2 六种坐标系

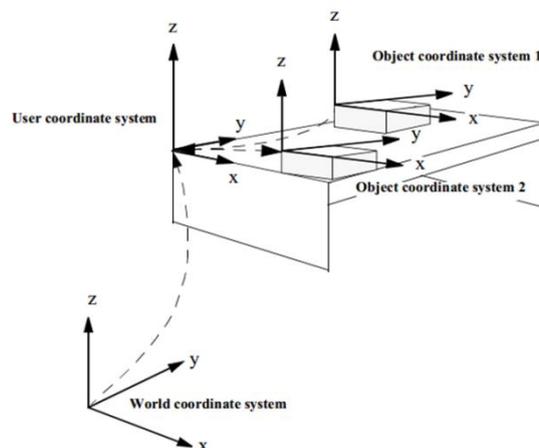
**世界坐标系：**整个环境界面的坐标系，一般可自由定义，多数情况下位于机器人足部。

**机器人足部坐标系（基部坐标系）：**固定在机器人足内，用来说明机器人在世界坐标系中的位置。

**法兰坐标系：**固定于机器人的法兰盘上，是工具的装夹原点（一般常见的法兰坐标系都是 Z 轴朝外，X 轴朝下）

**工具坐标系：**即工具中心点，简称 TCP，可自由定义。

**工件坐标系：**是固定于工件上的笛卡尔坐标系，是编程人员在编制程序时用来确定刀具和程序起点的，该坐标系的原点可由使用人员根据具体情况确定。



## 2.2.3 机器人常见运动指令

**直线运动：**指令用于将机器人 TCP 点沿直线路径运动到目标点位姿；位置移动和姿态转动同步。

**点到点运动：**指令用于将机器人从一个点快速运动到另一个点而又不要求 TCP 点所走轨迹形状时。所有轴同时到达目标点。

**样条指令：**一般是机器人在进行曲线运动时，按照指定的关节角度值运动。

## 2.2.4 正解与逆解

**求正解：**由机器人姿态算出工具末端点的位姿；

**求逆解：**由工具末端点的位姿算出机器人的各关节角。

在软件中，求逆解的应用主要表现在轴配置、仿真、编译、运动到点和仿真到点等。

## 2.3 机器人基本操作

### 2.3.1 导入官方机器人

**位置：**该功能位于【机器人编程】下的【场景搭建】中。



图示：机器人库

- 插入官方机器人模型：通过机器人的“主要应用”、“负载”、“工作域”和“轴数”等条件来筛选出所需机器人的型号；通过搜索来直接插入目标机器人；
- 点击界面中的机器人图片，会显示出机器人的相关参数：负载、工作范围、轴数、主要应用等；

### 2.3.2 自定义机器人

**位置：**位于【自定义】下的【机器人】定义机构中。



图示：“自定义机器人”位置

**说明：**软件支持但不限于自定义通用六轴机器人、非球型六轴机器人以及 SCARA（四轴）机器人，也可以依据您的需求开发其他轴数机器人的自定义功能，基本可以满足多品牌、多型号机器人市场的需求。

\*需定义的机器人模型来源有两种：一是该品牌机器人官网，二是用绘图软件画出。

### 2.3.3 导入机构

用于导入自定义的机器人，支持的文件格式为 robrd。



图示：“导入机构”位置

## 2.4 机器人右键

### 2.4.1 回机械零点

**位置：**位于机器人右键菜单内。

**概念：**机械零点即机器人出厂时的初始姿态。

**说明：**对机器人进行一系列操作后，机器人各轴和初始姿态相差甚大，这时让机器人回到机械零点，比较容易进行新的操作。

**“回到机械零点”的三种操作：**

下图所示的机器人，部分轴已经经过旋转，不是初始状态，要使其回到机械零点状态有三种不同的操作：

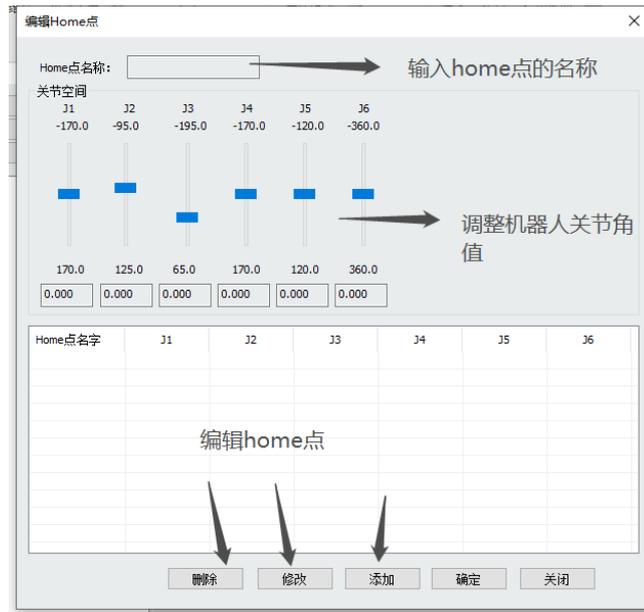
- 1) 选中机器人，右击，选择下拉菜单中的【回到机械零点】。
- 2) 选中机器人，单击右侧机器人控制面板上的【回机械零点】。
- 3) 将调试面板中机器人的关节角数值全部改为机器人出厂时的初始值（不一定是0）。

### 2.4.2 编辑 home 点

**位置：**机器人右键菜单内的“【编辑 Home 点】”。

**介绍：**该命令可以将机器人的一些常用的姿态保存起来，以方便大批量轨迹添加时随时切换、调整机器的空间姿态，加速、简化轨迹的添加过程。

同时，通过【编辑 Home 点】命令，也可以对存储的 Home 点进行修改、删除等操作。



图示：编辑 Home 点界面

当机器人处于某种状态的时候，选择右键菜单内的命令【编辑 HOME 点】，保存机器人当前的姿态，将该 HOME 点命名为“起始点”。

在机器人控制面板上选中该 HOME 点，那么机器人就会回到该 HOME 点的姿态。



## 2.4.3 创建与解除外部轴链接

**功能位置：** 机器人右键菜单【创建外部轴链接】【解除外部轴链接】。

**功能介绍：**

### A. 创建与导轨的链接

选中机器人，右击，然后单击右键菜单上的【创建外部轴链接】，即可展开“链接外部轴”设置界面，从“直线导轨”下拉菜单选择想要与机器人链接的导轨，然后单击界面中的确定按钮，即可创建链接。

**注意：**

1. **是否同步位置：** 勾选后，机器人会自动吸附到导轨的底座上；不勾选，机器人同样和导轨建立起关联，但机器人和导轨可实现特殊的独自运动，适合一些特殊加工场合。
2. **机器人安装底座角度：** 机器人安装到底座上，有四个 0、90、

180、270 角度可供选择。

## B. 创建与变位机的链接

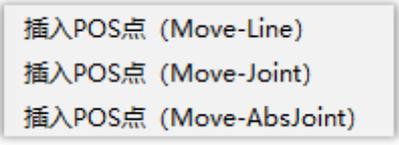
选中机器人，右击，然后单击右键菜单上的【创建外部轴链接】，即可展开“链接外部轴”设置界面，从“变位机”下拉菜单选择想要与机器人链接的变位机，然后单击界面中的确定按钮，即可创建链接。

## C. 解除外部轴链接

此命令可清空或解除已与机器人创建好的外部轴链接。  
右击机器人选择解除外部轴连接，把已经连接的外部轴清除即可。

插入 POS 点

功能介绍：该功能位于机器人右键菜单内。



插入POS点 (Move-Line)  
插入POS点 (Move-Joint)  
插入POS点 (Move-AbsJoint)

说明：这里插入 POS 点的效果与右击工具插入 POS 点的效果是一样的。  
POS 点为过渡点，其实就是独立于轨迹之外的一个点，可以选择插入不同的 POS 点方式。

## 什么时候插入 pos 点？

插入 POS 点可应用于多种情况。在可达范围内，当机器人想要运动到某个点，或者想要按照某条轨迹这样那样运动，但是受到了各种因素的阻碍时就可插入 pos 点，这里举一个例子。

### 示例

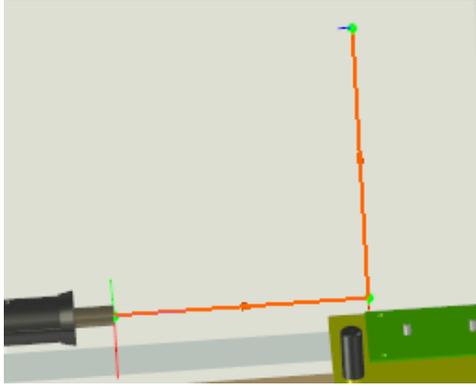
- 出入刀点方向不符合要求时

一般情况下，出入刀点都是沿着 Z 轴方向生成的，如下图，可以看到出入刀点在 Z 轴方向上的移动：



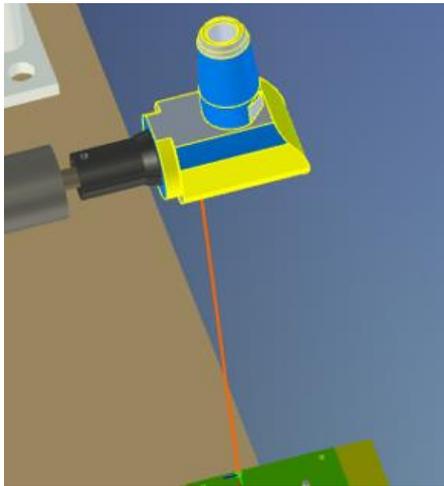
图示：出入刀点

以打磨工艺为例，我们需要的是工具先横着插到零件上，再竖着提起来，正确的运动轨迹如下图：



图示：打磨工艺轨迹

但是右击工具，直接选择【抓取（生成轨迹）】，工具会直接竖着把零件提起来：



图示：打磨工艺轨迹

这时就需要先插入 pos 点再生成轨迹。

#### 如何在某个特定位置插入 POS 点：

方法一：先利用调试面板将机器人调整到某个姿态，再插入 POS 点。

方法二：先插入 POS 点，再利用轨迹点右键菜单来编辑 POS 点的位置和姿态。

## 2.4.4 读取和保存关节值

**位置：**位于机器人右键菜单内。

**说明：**这里指的是“保存关节值”和“读取关节值”两个功能。

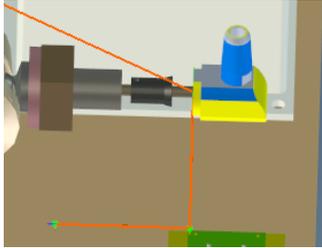
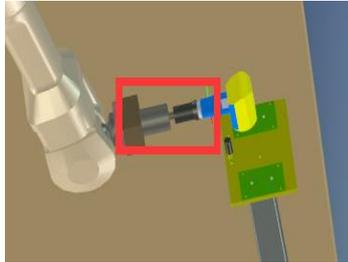
**保存关节值：**用于保存机器人当前姿态的关节角，保存文件格式为 txt。

**读取关节值：**从存储有机器人关节值的文件（txt）中导入机器人的关节角度值。

## 2.4.5 抓取（生成轨迹）和抓取（改变状态一无轨迹）

**位置：**位于机器人右键菜单内。

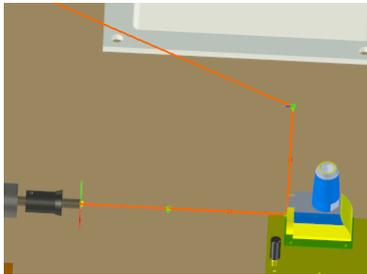
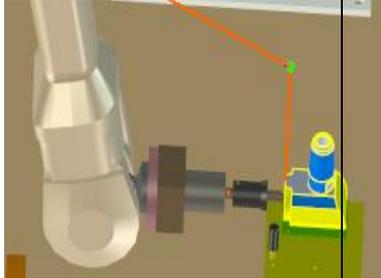
说明：

	抓取（生成轨迹）	抓取（改变状态-无轨迹）
应用场景	机器人抓取工件时	
基本概念	抓取物体、同时生成轨迹	抓取物体、但不生成轨迹
二者区别	一种 <b>动作</b> ，机器人会根据该指令 <b>运动</b>	一种 <b>状态</b> ，无动作的产生
实例：打磨	可看到运动的轨迹 	无任何动作，只是状态 

## 2.4.6 放开（生成轨迹）和放开（改变状态——无轨迹）

位置：位于机器人右键菜单内

说明：

	放开（生成轨迹）	放开（改变状态-无轨迹）
应用场景	机器人卸载工件时	
基本概念	放开物体、同时生成轨迹	放开物体、但不生成轨迹
二者区别	一种 <b>动作</b> ，机器人会根据该指令 <b>运动</b>	一种 <b>状态</b> ，无动作的产生
实例：打磨	可看到运动的轨迹 	无任何动作，只是状态 

注：使用【放开（改变状态-无轨迹）】后，虽然绘图区显示工具依然在抓着零件，但实际上两者已经分离了。因为选择的只是状态的改变，而不是动作的生成。

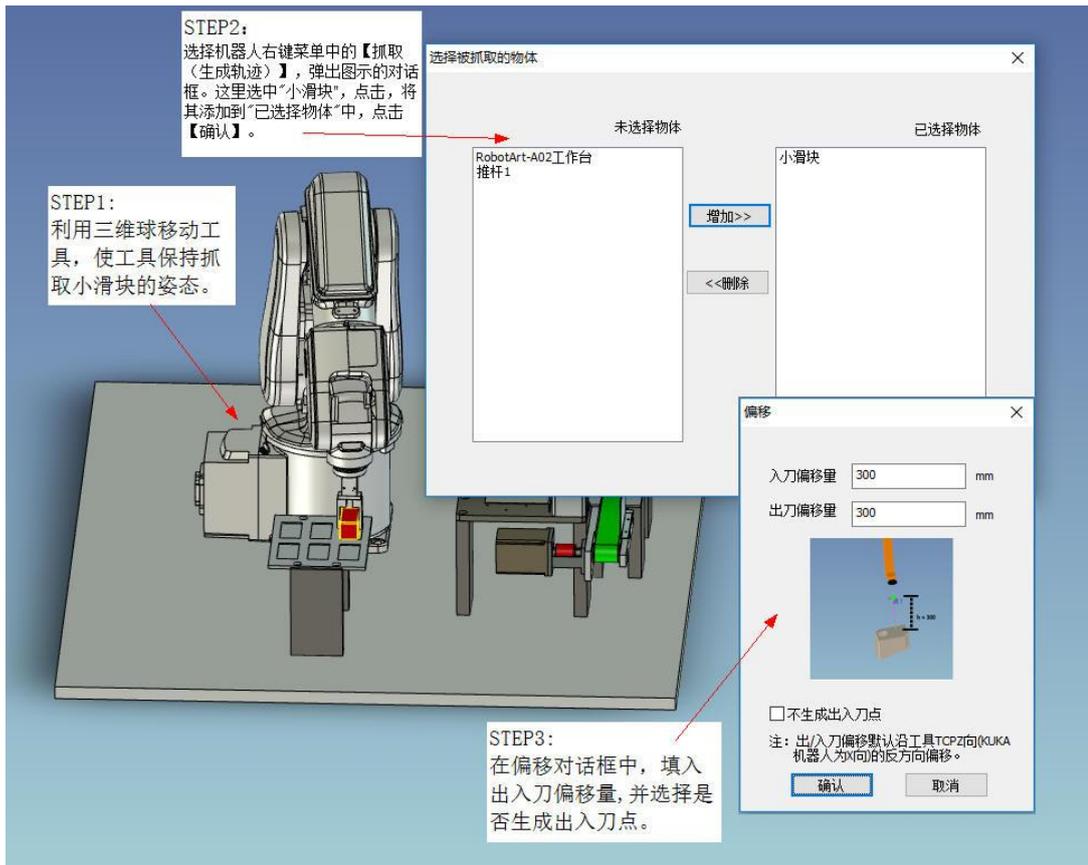
示例：

我们以机器人上下料为例来讲解一下抓取的过程。

机器人利用夹爪工具将零件从工作台 1 搬运到工作台 2。

软件环境中的场景如下图：

详细的抓取步骤见下图：



图示：抓取步骤

- ❖ 选择出入刀点，轨迹首和轨迹尾会分别生成一个点。出入刀点可使得机器人尽量避免发生碰撞。
- ❖ 出入刀偏移量：工具出刀点和入刀点分别距离第一个轨迹点和最后一个轨迹点的距离。

## 2.4.7 替换机器人/替换自定义机器人

**位置：** 位于机器人右键菜单内。

**作用：** 用于替换当前的机器人为其他目标机器人。

- 替换机器人：从【选择机器人】界面中导入机器人，单击【插入】即可；
- 替换自定义机器人：直接从本地导入自定义的机器人。

## 2.4.8 另存机器人

**位置：** 位于自定义机器人的右键菜单内。

**说明：** 自定义的机器人，即使已经插入应用到场景中，仍可以通过【修改机器人】命令对其修改。修改后的机器人，可通过该命令，将修改好的机器人重新另存出去。

## 2.4.9 隐藏，显示，删除和重命名

**位置：** 位于机器人右键菜单内。

**说明：**这里指的是三个功能，详细说明如下：

**隐藏：**隐藏当前选中的机器人。单击后，机器人会从绘图区隐藏，且机器人加工管理面板中的机器人节点变灰。

**显示：**用于显示已隐藏的机器人。右击机器人加工管理面板中的机器人名称，选择右键菜单内的【显示】功能，机器人就会重新出现在绘图区。

**删除：**用于删除所选的机器人。

**重命名：**用于修改机器人的名称。

## 2.4.10 重置软件零点

**位置：**位于自定义机器人的右键菜单内。

**作用：**用户自己定义机器人的软件零点位置，让机器人以更合理的姿态进行后续一系列的操作。

**什么是软件零点？**

软件零点即示教器上把机器人所有关节归零时的各轴姿态。在软件中，软件零点姿态表示为机器人导入到软件后的姿态。

**操作步骤：**

1. 调整机器人姿态后，选择机器人下拉菜单中（重置软件起点）；
2. 选择机器人右键菜单的（另存机器人），将机器人另存到制定位置；
3. 通过（自定义）下的（导入机器人），将机器人导入到软件中。

## 2.4.11 同步到此机构

**位置：**位于机器人右键菜单内。

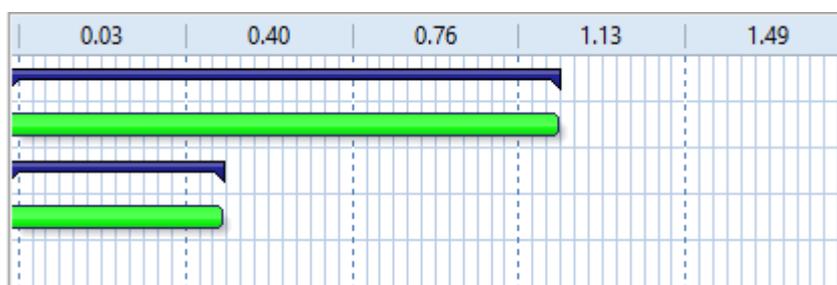
**作用：**使用该功能可实现两个及两个以上的机器人同一时刻运行完成轨迹。

**示例：**以两个机器人进行气缸去毛刺工艺为例，两个机器人运行的轨迹和运行的速度不同。正常情况下仿真时，总有一方会先结束运行。

进行“同步到此机构”的操作后，二者同时结束运行。

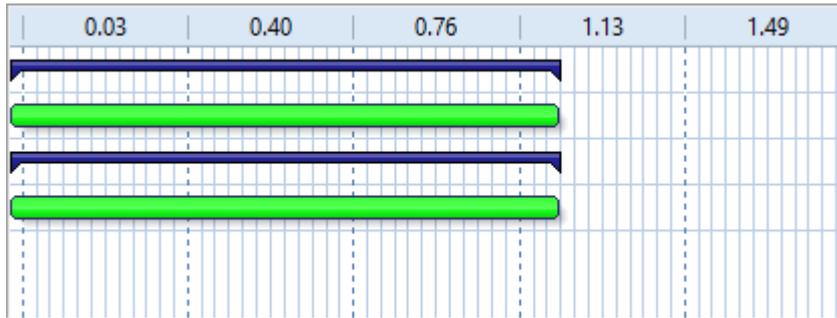
通过仿真管理面板可以观察到：

未同步时两个机器人结束运行的时间点如下图所示：



图示：仿真管理面板

同步后两个机器人结束运行的时间点如下图所示：



图示：仿真管理面板

## 2.4.12 设置机器人

**位置：**位于机器人右键菜单内。

**作用：**该功能是对机器人六个轴的关节角度转动范围、机械零点和轴配置进行设置。例如：在实际操作环境中为了防止机器人发生碰撞，可以通过改变轴限位的值，来限制各轴的活动范围。

### ■ 设置机器人界面介绍

机器人设置
×

关节配置

关节号	机械零点	最大限位	最小限位	关节速度(de...	地址	反馈地址
J1	0.000	165.000	-165.000	97.403		
J2	0.000	110.000	-110.000	97.403		
J3	0.000	70.000	-110.000	97.403		
J4	0.000	160.000	-160.000	97.403		
J5	0.000	120.000	-120.000	97.403		
J6	0.000	400.000	-400.000	97.403		

轴配置

第一轴：

 向前  
 向后

第二轴：

 向上  
 向下

第四轴：

 不翻转  
 翻转

图示：“设置机器人”界面

- **机械零点设置：**改变机器人处于机械零点时各轴的关节角，即改变机器人机械零点状态。

- **轴配置：**软件可以对一二四轴进行配置。



图示：“轴配置”界面

机器人从点 1 运动到点 2 的姿态有多种，只有在轴配置中限定了它的各关节角（即限定了[逆解算法](#)），运动姿态才能实现唯一，这样就可与真机控制器的设定相匹配。

## 2.4.13 修改自定义机器人

**位置：**位于机器人右键菜单内。

**说明：**通过【修改自定义机器人】，可修改机器人的 DH 参数、关节详细信息和机器人基本信息，整个过程类似于重定义机器人。

一般来说，软件机器人库中的官方机器人是不允许修改的，只有自定义的机器人才能有此功能。）

## 2.4.14 属性

**位置：**位于机器人右键菜单内。

**说明：**【机器人属性】界面分为三个标签页：基本信息，后置信息，显示设置。

### ■ 机器人属性界面介绍

## 2.4.15 基本信息

**基本信息：**不可更改，包括机器人的名称、品牌和型号。

## 2.4.16 后置信息

**后置信息：**包括后置类型和后置文件路径。

- 如果机器人为官方机器，后置类型会显示为该品牌机器人同名后置；
- 如果机器人为自定义机器人，但定义时使用了软件内置的后置类型，则该机器人后置类型显示为品牌机器人后置名称
- 如果机器人为自定义机器人，定义时指定了自定义的后置文件，则在后置面板上，后置类型会显示为自定义，后置文件后会显示引用的后置文件路径。

## 2.4.17 显示设置

**显示设置：**控制显示 DH 坐标系及法兰坐标系；控制显示机器人可达范围空间。

### a. 显示坐标系

显示 DH 坐标系，点击应用，机器人的 DH 坐标给显示出来，  
显示法兰坐标系，机器人法兰末端会把坐标系显示出来

### b. 机器人可达空间范围显示

**功能介绍：** 机器人可达空间，指的是机器人末端法兰、机器人手持工具 TCP 在三维空间内所能达到的空间点的集合。

**功能作用：** 机器人工作空间的形状和大小是十分重要的，是事先作业死区而不能完成任务。显示出机器人工作空间后，技术人员将明确机器人的可达空间范围，从而有效地规划机器人运动路径。

**备注：**

机器人工作空间设置界面上有三个命令按钮：

【不显示】：关闭机器人可达空间显示效果；

【机器人法兰】：用机器人本体末端法兰 TCP，去绘制、显示可达空间；

【当前工具】：用当前工具激活的 TCP，去绘制、显示可达空间。

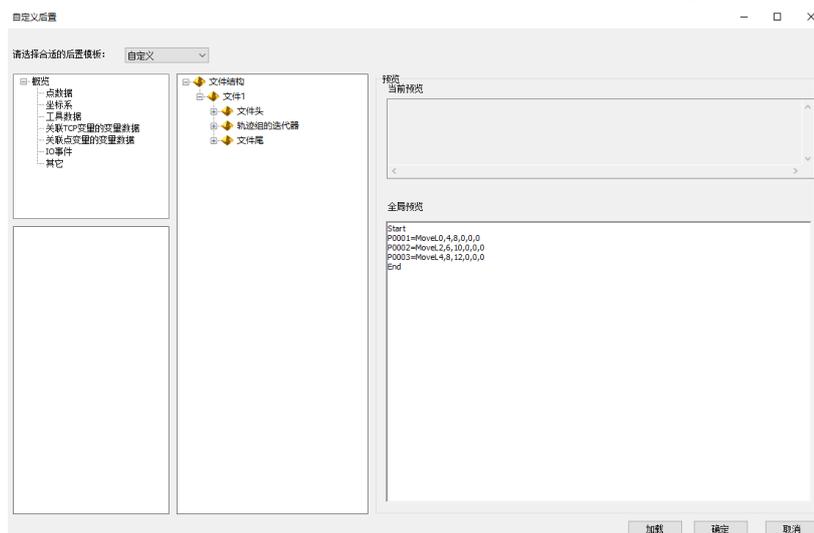
## 2.4.18 修改、导入、导出后置格式

**位置：** 位于自定义的机器人右键菜单内。

**作用：** 【修改后置格式】可以对机器人自身的后置格式进行修改；

【导入后置格式】可以在修改后置格式期间，通过导入其他后置格式文件来覆盖原有后置格式，从而达到修改机器人原有后置格式的目的；

【导出后置格式】同时还能将机器人现有的后置格式导出备份。



图示：“修改后置格式”界面

## 2.4.19 设置机器人运动参数

**位置：** 位于机器人右键菜单内。

**作用：**用于设置、更改机器人运动速度默认值，包括机器人的关节速度百分比，线速度（单位为 mm/s）和角速度（单位为 rad/s）。

#### ■ 机器人默认速度设置介绍



图示：“默认速度设置”界面

- **关节速度百分比：**机器人各个轴的运动速度百分比。
- **机器人线速度：**机器人沿着直线做线性运动时的速度。
- **机器人角速度：**机器人做关节运动时的速度。
- ❖ 一般情况下，软件中所有机器人的默认速度均为 200mm/s。如果和实际机器人不符，创建轨迹前，请先修改机器人默认速度。
- ❖ 还可以进行自定义参数设置。

## 2.4.20 几何属性

**位置：**位于机器人的右键菜单内。

**说明：**“几何属性”用来查看/修改机器人的材质，颜色以及透明度等。



图示：“几何属性”界面

## 2.4.21 添加至工作单元

**位置：** 位于机器人右键菜单内。

**说明：** 该功能是将选中的机器人添加到工作单元中，构成工作单元的一部分。

什么是工作单元？

工作单元是包含机器人、工具、零件、状态机等设备的一个系统，既可以是完整的工作站，也可以是单独的某个模型。设置工作单元方便统一管理。

在机器人加工管理面板的结构树上，工作单元为独立的节点  工作单元，所有新增的工作单元都会归入该节点下。右击某个单元，可对单元进行右键菜单中的几种操作。

**示例：**

选择某个机器人右键菜单中的【添加至工作单元】，弹出相应的对话框：



图示：“添加至工作单元”

点击【确定】后，面板结构树上，新创建的工作单元下会显示出所选对象。

编辑工作单元：右击单个/多个工作单元，下拉菜单中列出了工作单元的可操作项目。



图示：机器人单元

注：添加到工作单元中的机器人依然保留其原本的特征。

## 2.5 工具基础知识

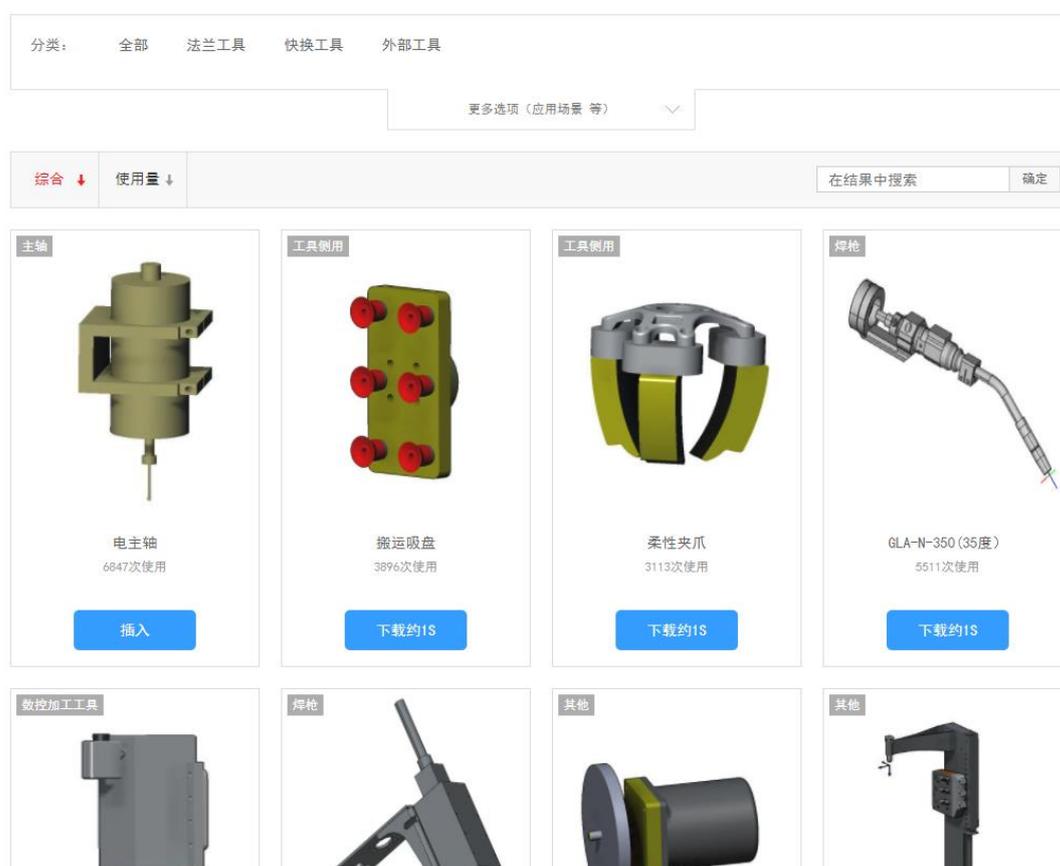
### 2.5.1 工具定义

**工具:** 机器人工作时所使用的机械性或智能性器具，可以应用于打磨、去毛刺、焊接、涂胶等工艺中。软件支持的工具格式为 robot。在软件中，与工具相关的元素包括工具中心点 TCP、工具坐标系等。

**TCP:** Tool Center Position，工具工作的中心点。

### 2.5.2 工具库

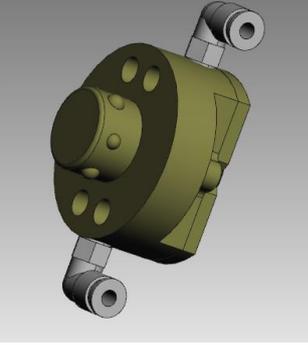
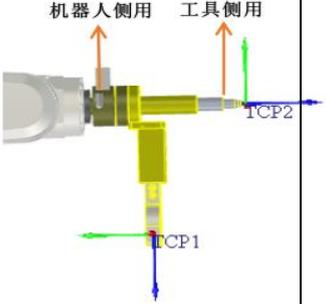
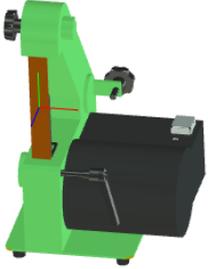
软件的【工具库】中包含了丰富的云端在线资源，其中涵盖了大部分行业的应用工具，工具的种类和数量保持持续更新中。



### 2.5.3 工具分类

工具可分为三类，详细描述见下表。

工具名称	说明	图示
------	----	----

<p>法兰工具</p>	<p>安装在机器人法兰盘上的工具。</p> <p>法兰盘：通常是指在一个类似盘状的金属体的周边开上几个固定用的孔，用于和机器人六轴末端的法兰进行装配。</p>	
	<p>安装方式： 法兰工具从【工具库】中导入，导入后即直接安装在机器人的法兰盘上。</p>	
<p>快换工具</p>	<p>由机器人侧用和工具侧用组成。机器人侧用指的是与机器人法兰盘连接的工具，工具侧用指的是与法兰工具连接的工具。当机器人需要完成两种及以上的任务时，通过快换工具可以快速更换工具，而不用从法兰盘上拆下工具，省时省力。</p>	
	<p>安装方式： 工具侧用从【工具库】中导入，导入后需要执行安装操作（通过工具右键菜单的[安装]指令），才能安装到机器人侧用工具上。</p>	
<p>外部工具</p>	<p>独立于机器人之外的工具，如打磨机、砂轮等。有时机器人需要手持工件配合使用外部工具。</p>	
	<p>安装方式： 外部工具从【工具库】中导入，导入后即可独立于机器人之外，配合机器人进行零件的加工。</p>	

## 2.5.4 导入工具

导入工具之前需先导入机器人。

**位置：**位于【编辑仿真】下的【场景搭建】中，工具库中有丰富的工具资源。



图示：“工具库”位置

**说明：**用于导入软件工具库中的工具。工具的格式为 `robt`。

**注意：**导入法兰工具和快换工具前需先导入机器人，外部工具可在无机器人的情况下导入。

**快换工具的安装：**导入快换工具后，详细的安装步骤见下：

第一步：导入法兰工具；

第二步：右击工具弹出菜单栏，然后选择安装（可以生成轨迹，也可以不生成轨迹）

## 2.5.5 定义工具

为了应对各种工况需求，软件支持用于法兰装夹、快换、外部工具等多种自定义工具方式，并支持工具的多姿态定义。

## 2.5.6 抓取和放开

工具可抓取/放开目标零件，常用于搬运工艺中。

**位置：**位于工具的右键菜单内。

工具的抓取原理和步骤与[机器人](#)的抓取操作完全一样。

工具的放开原理、步骤和[机器人](#)的放开操作完全一样。

## 2.5.7 安装与卸载

对于快换工具来说，导入后还需要手动安装到法兰工具上去。

**命令位置：**位于快换工具的右键菜单内。

**说明：**导入快换工具后，单击快换工具的右键菜单，选择【安装（生成轨迹/改变状态-无轨迹）】；卸载快换工具时，选择右键菜单内的【卸载（生成轨迹/改变状态-无轨迹）】。

	安装（生成轨迹）	安装（改变状态-无轨迹）
应用场景	安装快换工具时	
基本概念	安装工具、同时生成轨迹	安装工具、但不生成轨迹
二者区别	一种 <b>动作</b> ，机器人会根据该指令 <b>运动</b>	一种 <b>状态</b> ，无动作的产生
实例	可看到运动的轨迹	无任何动作，只是状态

	卸载（生成轨迹）	卸载（改变状态-无轨迹）
--	----------	--------------

应用场景	卸载快换工具时	
基本概念	卸载工具、同时生成轨迹	卸载工具、但不生成轨迹
二者区别	一种 <b>动作</b> ，机器人会根据该指令 <b>运动</b>	一种 <b>状态</b> ，无动作的产生
实例	可看到运动的轨迹	无任何动作，只是状态

## 2.6 工具右键

### 2.6.1 编辑 TCP

**位置：**位于工具的右键菜单内。

**说明：**编辑 TCP 即编辑工具工作的中心点，编辑时自动弹出三维球，通过三维球可平移一定距离，可旋转一定角度。



图示：“编辑 TCP”对话框

**注：**编辑 TCP 存在两种情况：修改/不修改装配位置，即编辑 TCP 后是否修改工具的位置。该指令存在于【TCP】设置中，一般默认情况为“修改装配位置”。

### 2.6.2 TCP 设置

TCP 设置即校准工具的位置和姿态，以确保虚拟环境中工具的位置与真实环境中工具的位置保持一致（位置是相对于机器人的基坐标系/法兰坐标系来说的）。

**位置：**位于工具的右键菜单内。



图示：“TCP 设置”界面

\*只有选中一个 TCP，使其显示为蓝色状态才能进行操作。

说明：该对话框可对 TCP 的数值进行修改，具体数据要根据实际测量的填入，尽量减小误差。

◎切换当前 TCP：即选择要编辑的 TCP，通过双击 TCP 名称可以实现；

◎默认设置：恢复 TCP 初始数据，消除所做的任何修改操作。

◎加载：导入外部文件中的 TCP 数据。也可以双击“XYZ、Q1Q2Q3Q4”，手动修改数值。

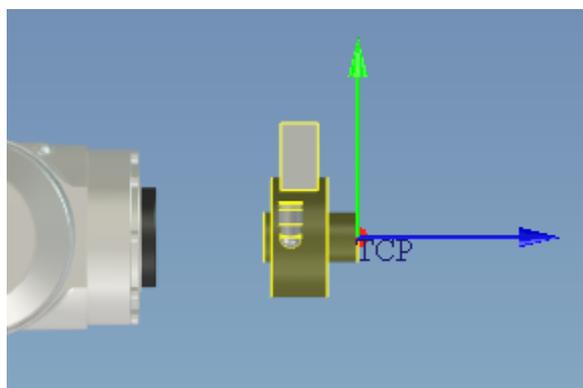
◎保存：将当前选中的 TCP 数据保存到文件中，方便下一次使用。

◎同步修改：在不只一个 TCP 的情况下，工具所有 TCP 的位姿都会随着所选 TCP 数据的修改而改变。

◎修改装配位置：这里的装配指的是工具，用该指令确定工具位姿是否随着 TCP 的修改而变动。

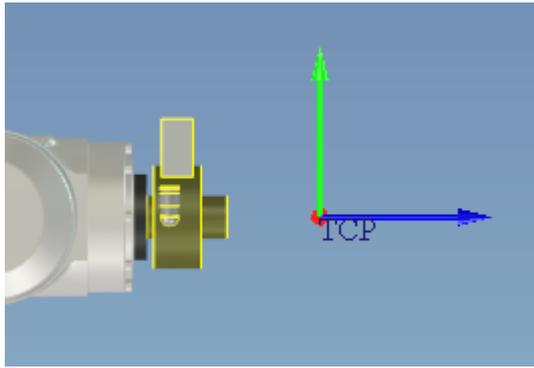
有时候，我们需要改动 TCP 点的位置和姿态，方法有两种：“编辑 TCP”和“TCP 设置”  
示例

让法兰工具的 TCP 向外平移 80mm 后，勾选【修改装配位置】，效果如下：



图示：“修改装配位置”

不勾选，效果如下：



图示：“不修改装配位置”

❖ 修改装配位置，意味着工具会随着 TCP 移动，这时工具会和机器人在表面上分离，但不会影响各种操作；不修改装配位置，意味着 TCP 自己动，且会在表面上和工具分离。

❖ **注意：**如果实际环境中测量的 TCP 方向与软件中定义的方向不一样，不要修改装配位置或者不要修改 q1-q4 ([四元数](#))，这样会导致工具的形态发生变化。

◎**关联变量：**工具末端在实际环境中加工工件时可能会出现磨损或者其他情况。“关联变量”可以为 TCP 增添关联变量符合工艺需求，使得 TCP 位置时刻与实际环境中工具的位置保持一致。



图示：关联变量

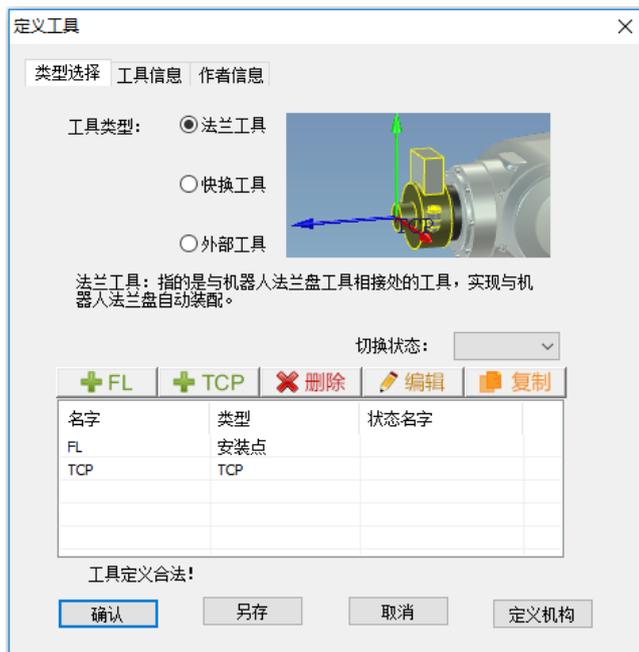
\*这里关联的 X Y Z 指的是 TCP 的 X Y Z，其后跟随的是公式。使用“关联变量”时，还需要配合 plc。

## 2.6.3 编辑工具

**位置：**位于工具的右键菜单内。

**说明：**编辑工具上的 FL,TCP,CP 等点。在实际操作过程中，根据需求，对其进行添加/删除/编辑/复制。

## ■ 定义工具界面介绍



图示：“定义工具”界

\*对附着点的编辑不会改变工具的位置和姿态

【类型选择】：对当前已导入的工具进行附着点的编辑，可以添加/删除，也可以编辑附着点的姿态（用三维球调整）。编辑完毕之后，点击【确认】即可。如果想重新导出去，则点击另存。

-  调整附着点的位姿，点击“编辑”后会自动弹出三维球，实现附着点  
工具类型：不同工具类型编辑的附着点不同。法兰工具是 FL 和 TCP；快换工具是 CP 和 TCP；外部工具是 TCP。

- 添加附着点：单击   可以继续添加附着点 FL 和 TCP，添加的附着点在表格中显示出来。单击某个附着点，该点所在的条目会变成蓝色，表示处于可编辑状态。

名字	类型
FL	安装点
TCP0	TCP
TCP1	TCP

图示：切换/选中附着点

-  删除选中的附着点。
- 的平移/旋转。
-  用于复制选中的附着点，一般应用于外部工具的情况比较多。

【工具信息】和【作者信息】则是关于工具和用户的信息，可选择性地填写工具名字、型号、类型、参数和简介。

## 2.6.4 替换工具

**位置：**位于工具的右键菜单内。

**说明：**用于将当前工具替换成目标工具。软件支持替换软件库中的工具/自定义的工具，支持的工具格式为 `robt`。

## 2.7 零件的定义

- 1) **工件：**正在加工还没有成为成品的零件。
- 2) **零件：**机械中不可分拆的单个制件，是机器的基本组成要素，也是机械制造过程中的合格的具有一定功能的物件。通过零件的组合能构成部件，部件组合能构成为产品。在软件中，零件可分为场景零件和加工零件两种。场景零件用于搭建工作环境，而加工零件则是机器人加工制造的对象。零件的格式为 `robp`。
- 3) **部件：**部件是机械的一部分，由若干装配在一起的零件组成。
- 4) **CP：**CP 为安装点、抓取点。具体来说，CP 是零件上被工具抓取的点。
- 5) **RP：**RP 为放开点，一般是机器人放开零件时，零件与工作台接触的点。

## 2.8 零件的操作

在软件中，零件涉及的操作包括以下几个方面：

- 1) **工件校准：**确保软件的设计环境中机器人与零件的相对位置与真实环境中两者的相对位置保持一致。
- 2) **机器人搬运零件：**机器人通过零件上的 CP、RP 点来实现上下料、搬运、码垛等
- 3) **加工零件：**在零件上生成加工轨迹，从而完成零件的加工
- 4) **创建工件坐标系：**新建工件坐标系，相对于工件坐标系创建的轨迹，在机器人的位置改变后（也就是说机器人的基座标发生变化），后置代码中，这些轨迹的点数据不会改变，仅仅工件坐标系的位置姿态的数据会发生变化。

## 2.9 导入零件

零件作为工具加工的对象，需要先导入到软件中。

**位置：**位于【场景搭建】的【设备库】内。设备库内有丰富的零件资源。



图示：“设备库”位置

说明：【设备库】支持导入库中的零件，零件的格式为 robp。

## 2.10 定义零件

位置：位于【自定义】下的【零件】中。



图示：“定义零件”位置

说明：软件支持自定义零件，零件的模型有零件、工具、机器人底座等多种选择。即，可将工具、零件和底座等都看作是零件进行自定义。

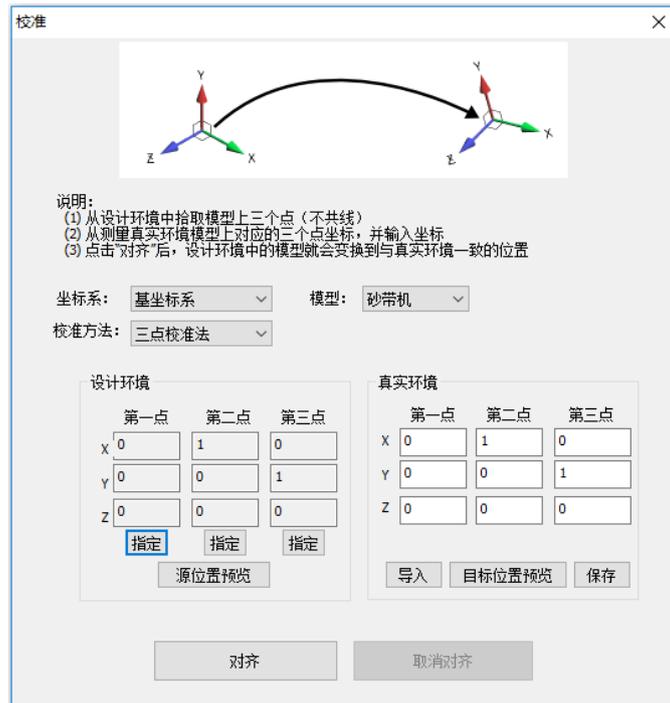
## 2.11 工件校准



图示：“校准”位置

### 2.11.1 三点校准法

#### ■ 校准界面说明

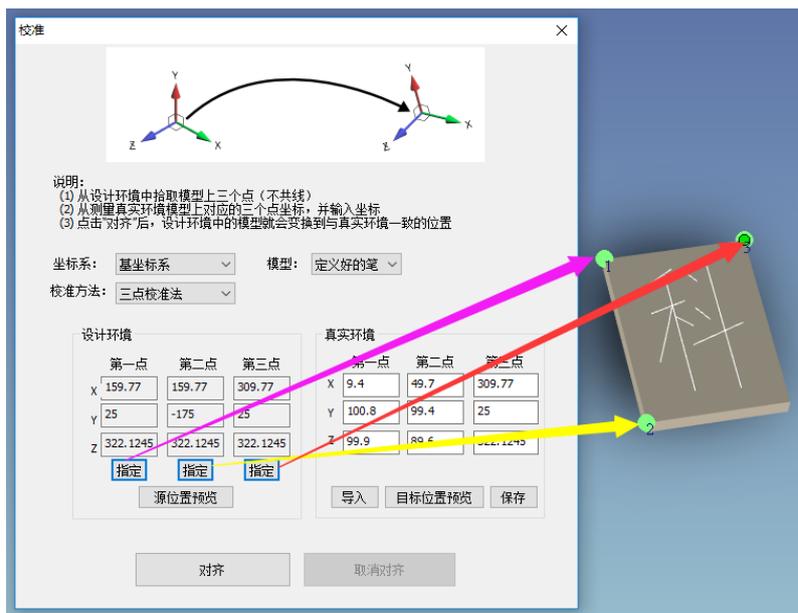


图示：三点校准法界面

\*界面图中的“说明”为校准操作的具体步骤。

- ❖ **注意：**选取的三个点不共线。设计环境中指定的三个点要和真实环境中测量的三个点位置保持一致。
- **坐标系：**工件位置所参考的坐标系。这里的坐标系包括基坐标系和法兰坐标系。  
**基坐标系：**固定在机器人足内，用来说明机器人在世界坐标系中的位置。  
**法兰坐标系：**固定于机器人的法兰盘上，是工具的原点（一般常见的法兰坐标系都是Z轴朝外，X轴朝下）。
- **模型：**应选择当前需要校准的工件。
- **设计环境：**软件软件中的绘图区。
- **真实环境：**真机操作环境。
- **导入：**将保存在txt文件内的真实环境中测量的数据导入到软件中。
- **保存：**输入真实环境中测得的三个点数据后，将其保存到文件中（txt），方便下一次读取数据。
- **预览：**源位置预览：预览校准前的工件位置（以坐标系表示在绘图区中）  
 目标位置预览：预览校准后的工件位置（以坐标系表示在绘图区中）

拾取点的过程如下：

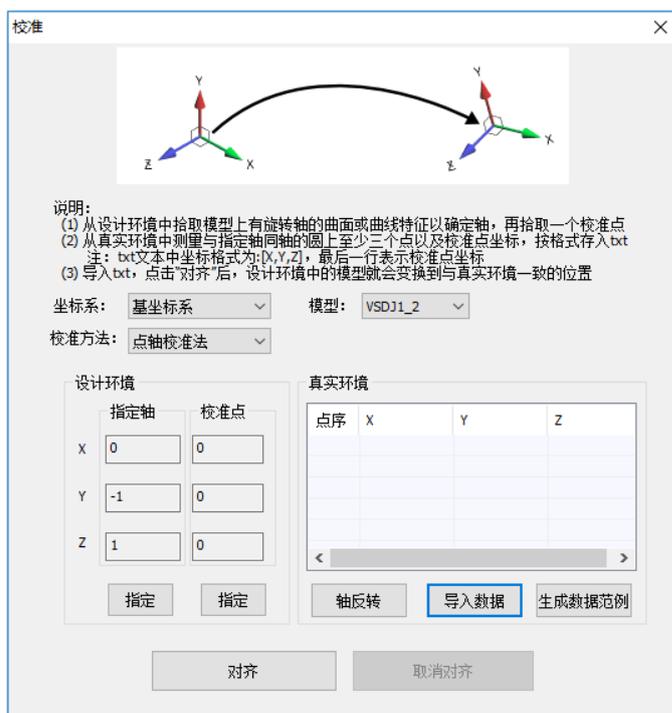


图示：工件校准步骤

## 2.11.2 点轴校准法

点轴校准法相比三点校准法,本质是一样的。两点确定一个轴,外加一个校准点,也刻意确定一个面,只是这个面的正反面不好确定。因此,在实际校准时需要借助“轴翻转”功能做进一步调整。

### ■ 点轴校准法界面

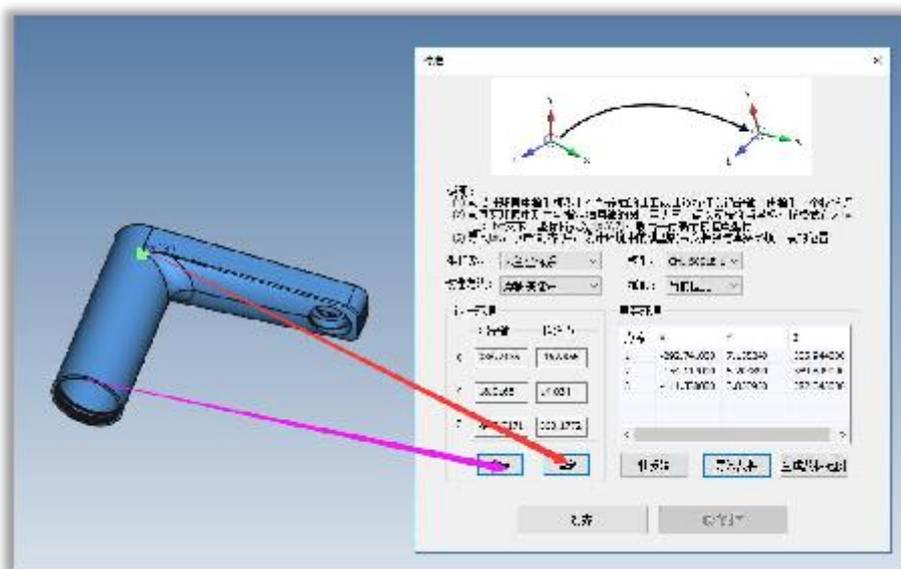


图示：点轴校准法界面

- **点的指定：**“指定轴”下的 X Y Z 指的是该条轴坐标系三个方向上的向量，在零件上指定时应选择与轴垂直的一个圆环或者曲面。此时确定的是轴的位置，不包括方向。校准点可选择零件上的任意一点。
  - **导入轴数据：**将实际环境中测得的轴数据文件导入，文件格式为 txt，不支持手动输入，节省了录入数据时间。
  - **轴反转：**输入虚拟环境和真实环境中的数据后，点击【对齐】，可看到校准后的效果。若发现轴向与预期的不一致，点击【轴反转】即可。“轴反转”即确定了轴的方向。
  - **生成数据范例：**将真实环境中的轴数据和点数据生成 txt 文件导出，以便对其进行查看。
- ❖ 真实环境内采集的用来确定轴的点（至少三个），必须来自于与轴线共轴的圆柱端面边线或圆孔边线上采集；
  - ❖ 设计环境内，拾取的校准点，注意不要和轴线相交。

#### 示例

以打磨水龙头为例，校准过程如下：

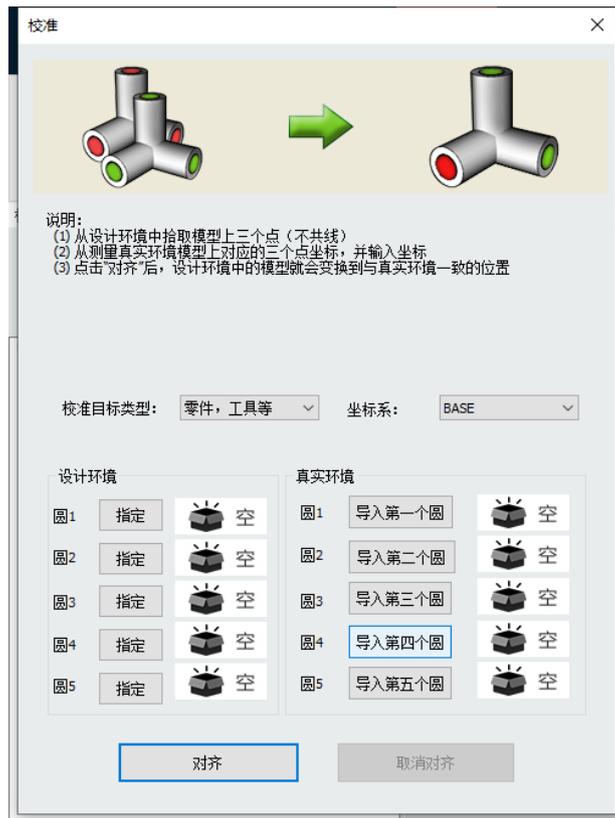


图示：点轴校准法过程

### 2.11.3 多点校准法

**能位置：**功能面板“【机器人编程】/【工具】/【多点校准】”

**功能介绍：**借助已经校准完成的机器人工具，采集被校准零件上的 3-5 个圆孔边线上的数据（机器人工具 TCP 点，通过示教器人工操作，接触被测圆孔端面上均布的一些点，每个圆孔至少要采集三个点以上的数据点）；然后通过“多点校准”的功能，来实现对多面体的校准。从而使设计环境和真实环境下，被加工零部件和机器人本体的相对空间位置关系保持一致。

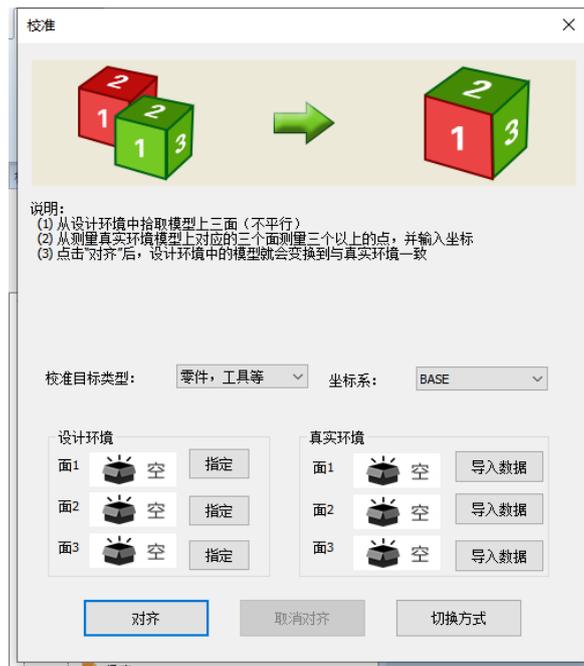


图示：多点校准法面板

## 2.11.4 三面校准法

**功能位置：**功能面板“【机器人编程】/【工具】/【三面校准】”

**功能介绍：**借助已经校准完成的机器人工具，采集被校准零件上的三个空间面上的数据（机器人工具 TCP 点，通过示教器人工操作，接触被测平面，每个面至少要采集三个点以上的数据），然后通过“三面校准”的功能，来实现对多面体的校准。从而使设计环境和真实环境下，被加工零部件和机器人本体的相对空间位置关系保持一致。



图示：三面校准法面板

## 2.12 零件右键

### 2.12.1 抓取（生成轨迹）和抓取（改变状态—无轨迹）

**位置：**零件的右键菜单内。

**说明：**

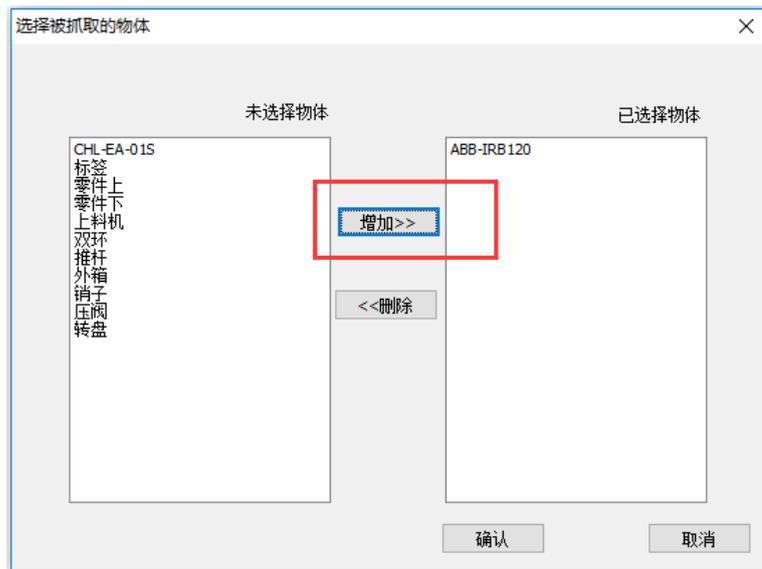
	抓取（生成轨迹）	抓取（改变状态-无轨迹）
应用场景	零件抓取机器人/零件抓取零件	
基本概念	有轨迹显示	无轨迹显示
二者区别	一种 <b>动作</b> ，零件会根据该指令 <b>运动</b> 。 生成的轨迹其实只有一个轨迹点。	一种 <b>状态</b> ，无动作的产生

#### ■ 操作对象是机器人时

机器人和工具也有这两个指令，但**区别在于**：机器人和工具使用该指令抓取零件时，机器人做的是关节运动（局部运动）；但使用零件的【抓取】指令，机器人做的是整体运动。

右击底座，选择下拉菜单中的【抓取（改变状态-无轨迹）】

选中机器人点击 ，将其添加到“已选择物体”中后，点击【确认】

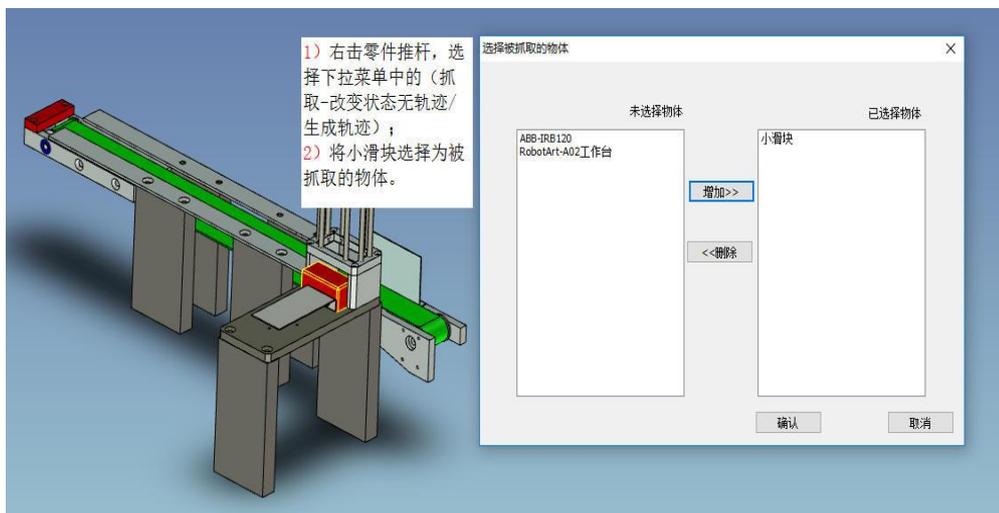


图示：零件抓取操作步骤

这时零件底座已经抓取了机器人，在导轨上移动时，机器人也会随之而动。

■ 操作对象是零件时

以机器人上下料为例，让推杆推动小滑块到传送带上，这时需要先让推杆抓取小滑块。详细的操作步骤见图示。



图示：零件抓取操作步骤

### 2.12.2 放开（生成轨迹）和放开（改变状态—无轨迹）

位置：零件右键菜单内。

说明：

应用场景	零件放开机器人/零件放开零件	
基本概念	有轨迹显示	无轨迹显示
二者区别	一种 <b>动作</b> ，机器人会根据该指令运动。生成的轨迹其实是一个轨迹点。	一种 <b>状态</b> ，无动作的产生

### 2.12.3 插入 POS 点

**位置：**零件右键菜单内。

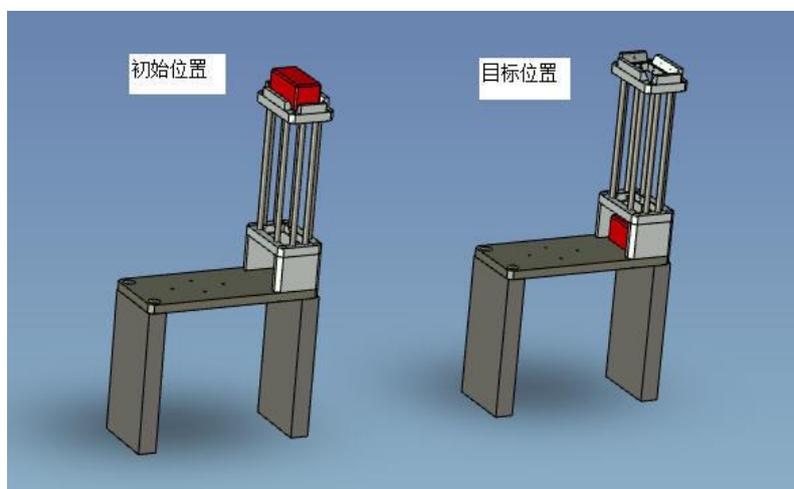
**说明：**零件的 POS 点指的是驱动点，也就是驱动零件移动的点。

**使用方法：**移动零件时，在初始位置插入 POS 点 1，之后利用三维球将零件定位到目标位置，在目标位置插入 POS 点 2。插入两个 POS 点后，零件便会生成移动轨迹。

❖ 插入的 POS 点被视为轨迹点，POS 点的右键菜单中包含了诸多与轨迹点相同的操作指令。

#### 示例

以为零件小滑块插入 POS 点为例



图示：小滑块前后位置的对比

右击小滑块，选择下拉菜单中的【插入 POS 点】。之后就可以在机器人加工管理面板中看到插入驱动点的特征。



图示：小滑块的树形图特征

将小滑块拖动到图示目标位置，插入驱动点 2，仿真，可以看到小滑块从顶部垂直下落到底部的整个过程。

### 2.12.4 隐藏，显示，删除和重命名

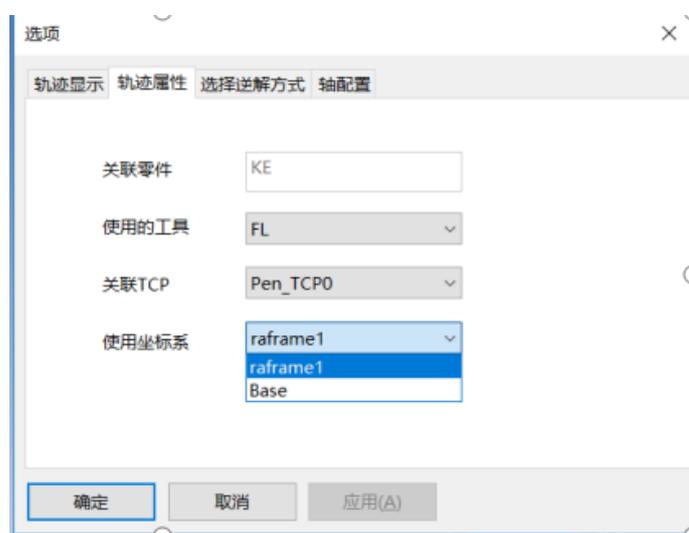
**位置：**零件右键菜单内。

说明:

- **隐藏:** 隐藏当前选中的零件。隐藏后, 零件会消失在绘图区, 且机器人加工管理面板中的零件节点变成灰色;
- **显示:** 将已隐藏的零件显示出来。方法是再次选中机器人加工管理面板中的零件节点, 右击, 选择【显示】, 零件会重新出现在绘图区;
- **删除:** 删除当前已导入的零件;
- **重命名:** 修改当前零件的名称。

## 2.12.5 轨迹关联工件坐标系

在轨迹的右键属性内, 通过修改使用的坐标系为“用户坐标系(工件坐标系)”, 可以促使该轨迹的所有的点坐标值按照自定义的工件坐标系来表示。



图示: 工件坐标系的使用方法

- ❖ 可以通过查看“轨迹点属性”值或后置来查看替换坐标系的前后的区别

## 2.12.6 编辑草图

**位置:** 带有草图的零件右键菜单内。

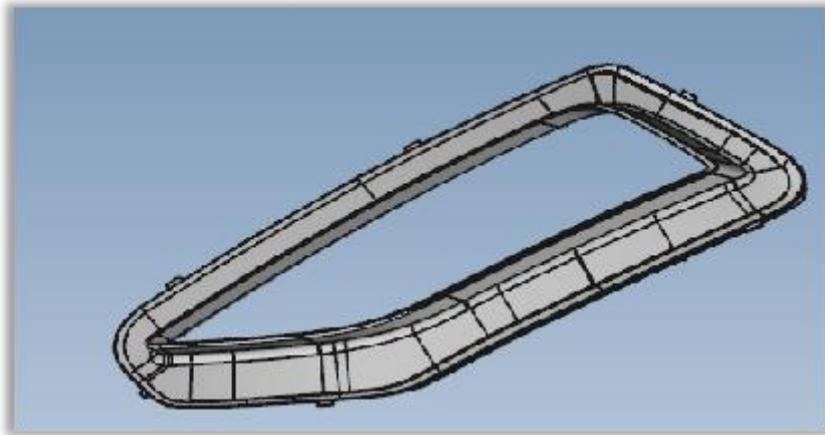
**说明:** 【编辑草图】功能只在带有草图的零件右键菜单内出现, 该指令的主要作用是对零件上的草图进行二次修改、编辑。

**使用方法:**

- ① 通过【输入】功能导入 stp 格式的零件模型。



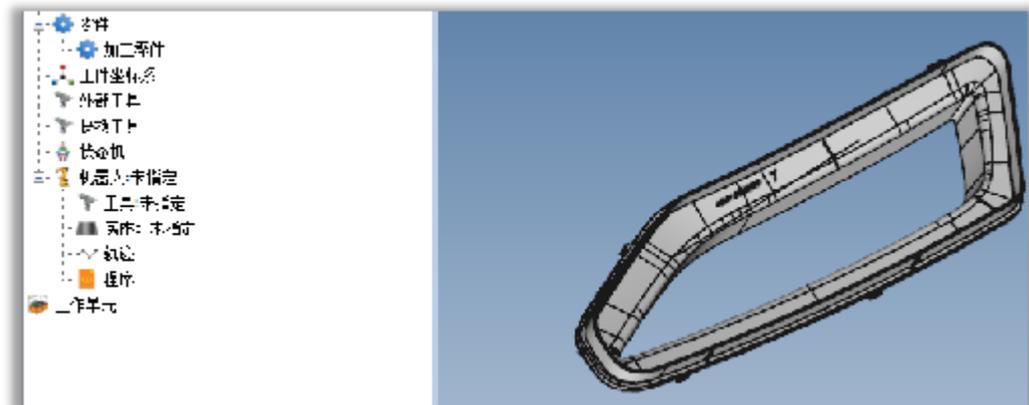
模型导入后:



- ② 在模型上创建草图，新创建的草图节点会显示在“场景”下；



- ③ 多选两个场景文件，右击，选择【装配】，将其装配成为一个场景；
- ④ 将装配文件定义成零件；



- ⑤ 右击【加工零件】，即可选择【编辑草图】。

## 2.12.7 另存零件

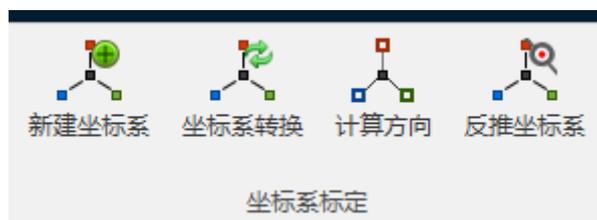
**位置：**零件的右键菜单内。

**说明：**有选择地另存零件和零件上关联的轨迹（只保存零件，还是零件+轨迹一块保存），实现零件和轨迹的导出和重复利用。

- 携带轨迹的零件的导入：机器人编程-场景搭建-导入零件。

## 2.13 新建坐标系

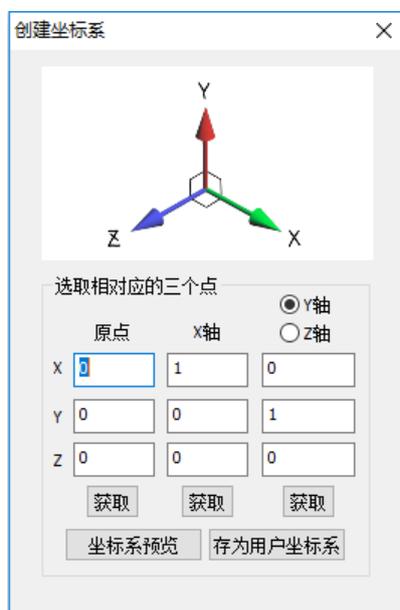
**位置：**该功能位于【校准】下的“坐标系坐定”。



图示：“新建坐标系”位置

**说明：**新建坐标系即定义一个新的工件坐标系（用户坐标系）。

**创建坐标系界面：**



图示：“新建坐标系”界面

**坐标系预览：**预览已建立好的坐标系。

**存为用户坐标系：**确认当前操作，并应用建立的坐标系。

**创建坐标系方法：**分别输入原点、X 轴、Y 轴/Z 轴的数值；或者通过“获取”按钮在目标模型上拾取三个点。一个工件上的任意三个点（三点不在同一直线上）都可建立一个坐标系，大大增加了坐标系位置和方向的可选择性。

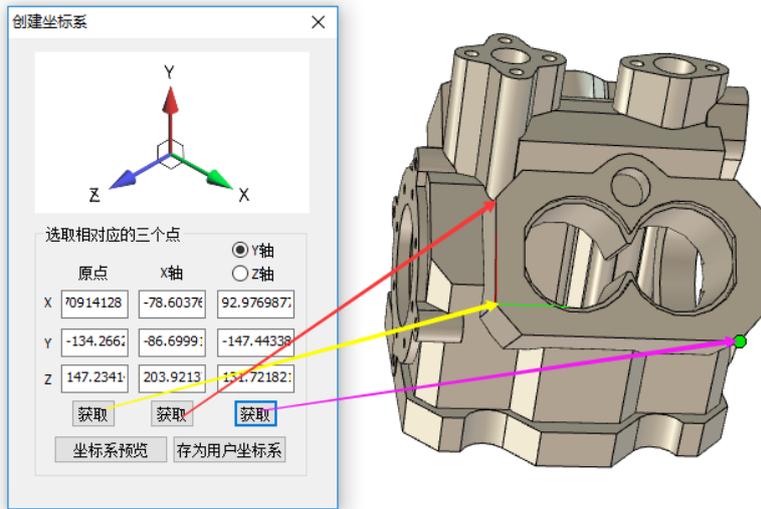
拾取点的方法：首先点击 **获取** 按钮，再点击零件上想要拾取的点。

**示例**

在零件气缸上添加一个工件坐标系。

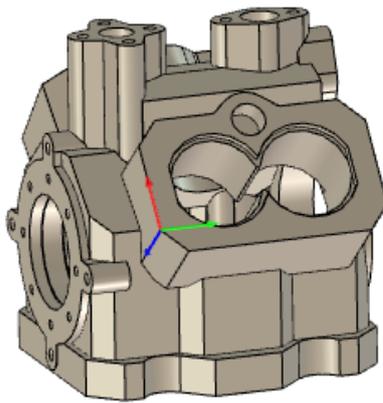
打开创建坐标系的对话框，依次拾取气缸上的三个点。

其中，拾取的点 1 为坐标系的原点；点 2 的位置决定了 X 轴的位置和方向；点 3 的位置决定了 Y 轴/Z 轴的位置和方向。三个点位置的选择任意，但不能同时同一条直线上。



图示：指定工件上的三个点

新建的坐标系效果图：

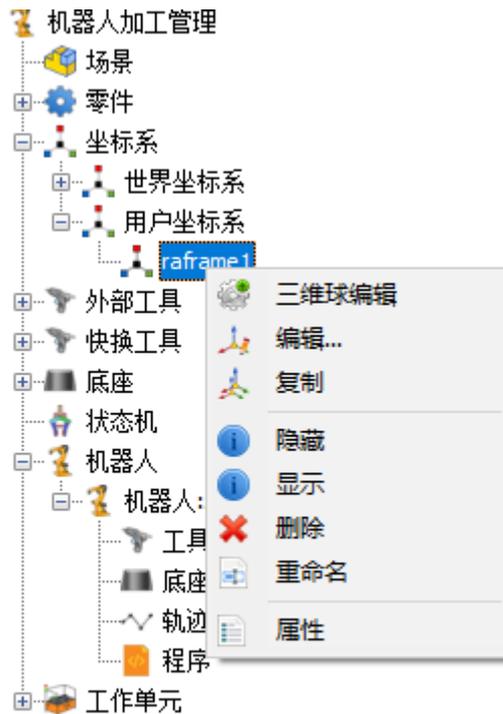


图示：新建坐标系示意图

## 2.14 编辑工件坐标系

**位置：**新建的坐标系会显示在机器人加工管理面板中的“坐标系下的用户坐标系”节点之下。

**说明：**可实现工件坐标系的编辑、复制、删除、隐藏、显示、重命名等，还可查看和更改属性特征。



图示：工件坐标系右键菜单

- **编辑：**编辑工件的位置和姿态，可用来进行工件校准。X Y Z Q1 Q2 Q3 Q4 等参数需要在真实环境中在示教器上测得，然后填入软件中，代表的是工件相对于机器人的位置和姿态。

工件坐标系校准与三点法工件校准效果是一样的，可根据需要选用。

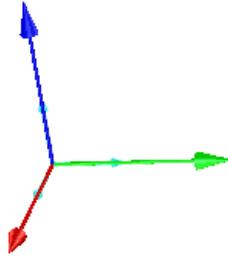
- ❖ **注意：**编辑坐标系时场景中一定要有机器人存在。



图示：“工件坐标系校准”界面

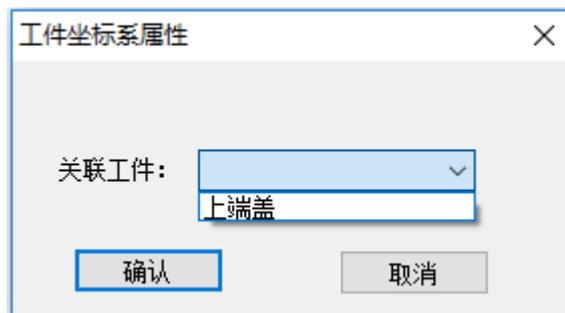
**修改关联工件位置：**工件坐标系是否与工件相关联。

- **复制：**复制当前选中的工件坐标系。复制的坐标系会与原坐标系重合。



图示：复制工件坐标系

- **删除：**将新建的工件坐标系删除。
- 隐藏：**隐藏当前选中的工件坐标系。隐藏后，工件坐标系消失在绘图区，机器人加工管理面板上的坐标系节点变成灰色。
- 显示：**将已隐藏的工件坐标系显示出来。
- 重命名：**修改所选工件坐标系的名称。
- **属性：**选定坐标系关联的工件。



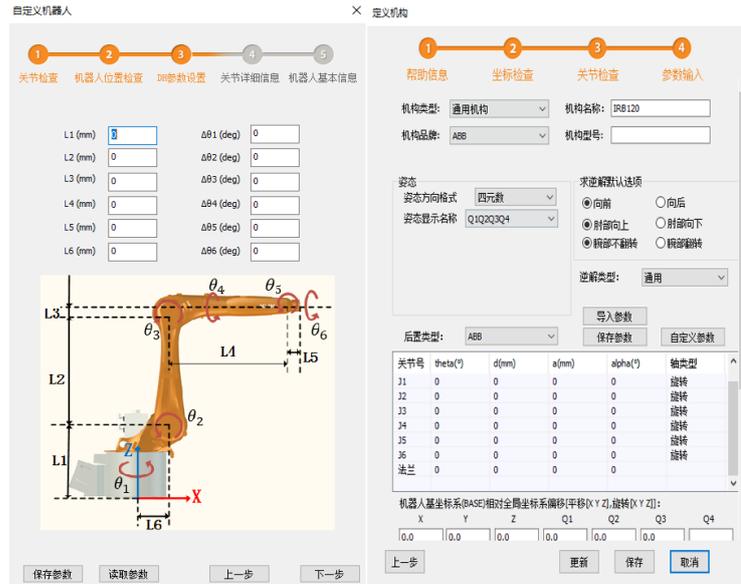
图示：工件坐标系属性

## 2.15 DH 坐标系

**DH 坐标系：**机器人每个连杆上的一个固定坐标系，每个坐标系都描述了相邻两连杆的空间关系，并表示了每个连杆在空间中的位置和姿态。

在软件中，DH 坐标系的应用包括：

- ◎ 在定义机构和定义机器人的过程中，通过 DH 参数建模、建立 DH 坐标系来定义一个机器人/运动机构。



◎显示/查看机器人各个轴的位置和姿态：  
 机器人右键菜单的【属性】中，选择是否显示出官方机器人/自定义机器人的 DH 参数。

**底座概念：**底座是机器人底部的承接块。软件支持的底座格式为 robs。  
**底座作用：**作为机器人的基座，用来固定机器人，或者调节机器人的高度。

## 2.16 导入底座

底座作为机器人底部的承接块，有时根据需求需要在软件环境中导入底座，进行场景搭建。  
**位置：**位于【场景搭建】中的【设备库】内。



图示：底座位置示意图

**说明：**通过【设备库】将底座导入后，底座会自动安装到机器人基座之下。

\*导入底座之前需先导入机器人。多机器人环境下，底座默认插入到当前激活的机器人底部。

## 2.17 安装底座

**位置：**位于底座的右键菜单内  
**说明：**可以将机器人按照设置好的角度安装到底座上。

## 2.18 底座右键

### 2.18.1 隐藏，显示，删除和重命名

**位置：**位于底座的右键菜单内。

**说明：**

- **隐藏：**隐藏当前选中的底座。隐藏后，底座会消失在绘图区，且机器人加工管理面板中底座的节点变成灰色；
- **显示：**将已隐藏的底座显示出来。方法是再次选中机器人加工管理面板中的底座节点，右击，选择【显示】，零件会重新出现在绘图区；
- **删除：**删除当前已导入的底座；
- **重命名：**修改当前底座的名称。

### 2.18.2 替换底座

**位置：**位于底座的右键菜单内。

**说明：**“替换底座”即将当前的底座替换为另外的新的底座。新底座既可以从软件的底座库中选择，也可以导入自定的底座。

### 2.18.3 几何属性

**位置：**位于底座的右键菜单内。

**说明：**“几何属性”用来查看/修改底座的材质，颜色以及透明度等。



图示：几何属性界面

### 2.18.4 添加至工作单元

**位置：**位于底座的右键菜单内。

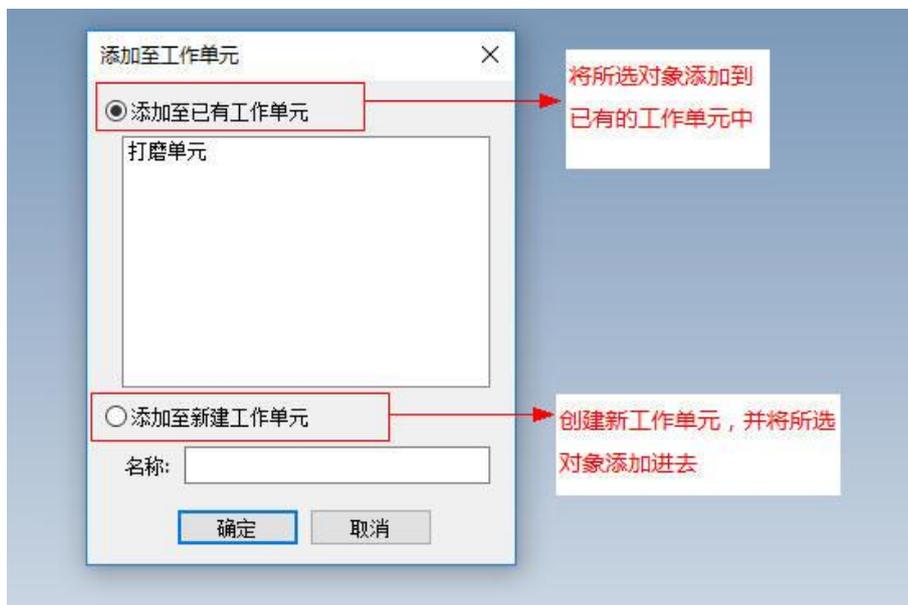
**说明：**该功能是将选中的底座添加到工作单元中，构成工作单元的一部分。

什么是工作单元？

工作单元是包含机器人、工具、零件、状态机、底座等设备的一个系统，既可以是完整的工作站，也可以是单独的某个模型。设置工作单元方便统一管理。

在机器人加工管理面板的结构树上，工作单元为独立的节点  工作单元，所有新增的工作单元都会归入该节点下。右击某个单元，可对单元进行右键菜单中的几种操作。

#### ■ 面板介绍



图示：添加至工作单元

## 2.19 导入轨迹

**位置：**位于编程仿真下的轨迹规划中。



图示：“导入轨迹”位置

**说明：**将其他软件/软件中生成的轨迹导入到软件中。软件支持的轨迹格式有 `aptsource`，`nc` 和 `robx`。

## 2.20 轨迹生成方式

轨迹生成方式即生成轨迹的方法，软件支持八种不同的生成方式，可应用于各种场景。

**位置：**【编辑仿真】下的【轨迹规划】中。



图示：“轨迹生成方式”位置  
 点击基础编程中的【生成轨迹】后，可在绘图区左侧看到属性面板。



图示：轨迹属性面板

“类型”中有九种不同的轨迹生成方式。其他指令在下文中详细描述。

## 2.20.1 沿着一个面的一条边

**概念：**通过一条边，加上其轨迹方向（箭头），再加上轨迹 Z 轴指向的平面来确定轨迹。即拾取一条边和这条边相邻的面，沿着这条边进一步搜索其他的边来生成轨迹。

**应用场景：**

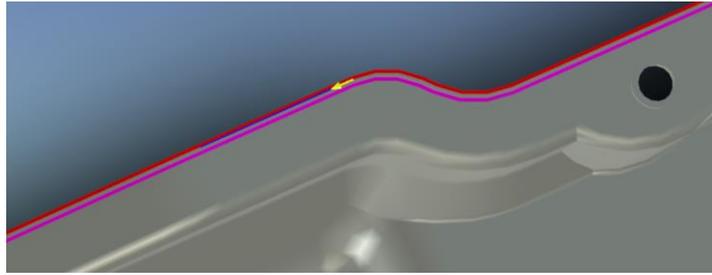
**示例**

以零件油盘涂胶为例，现实环境中涂胶时，涂胶笔的工作范围是油盘上的一个面。生成轨迹后，涂胶笔会沿着轨迹所在的面运动从而为其涂胶。

选择类型【沿着一个面的一条边】，拾取元素栏中有线、面和必经边，红色状态代表当前可操作。

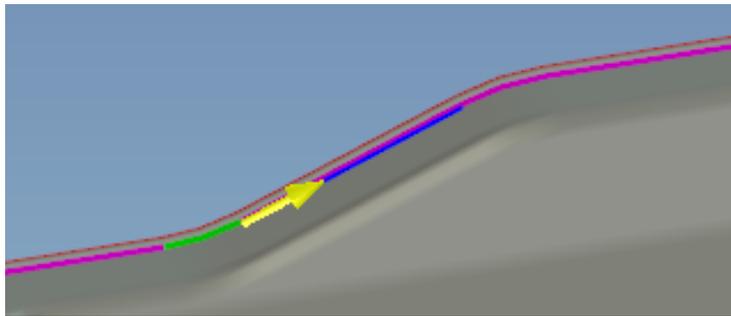
### ■ 拾取元素

- **拾取线：**点击油盆上的一条边（该边在想要涂胶的面上），黄色箭头代表轨迹方向。



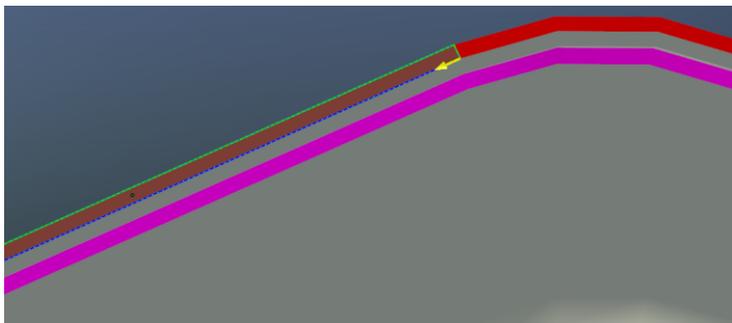
图示：拾取元素线

黄色箭头可改变箭头方向。



图示：改变轨迹方向

- **拾取面：**选择 and 所选边相邻的一个面。



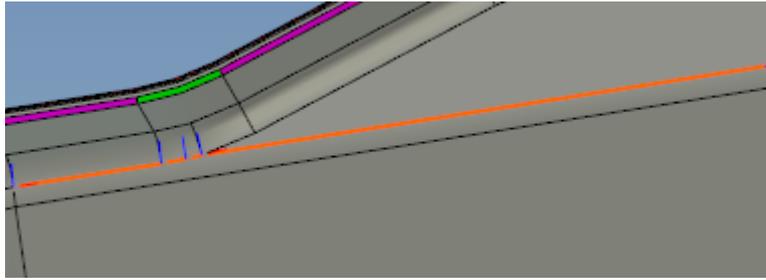
图示：拾取元素面

- **拾取必经边：**确定唯一的一条轨迹路径

当想要生成的轨迹方向上有许多路径时，需要指定一个轨迹的必经边。这样一来，轨迹路径就确定了。

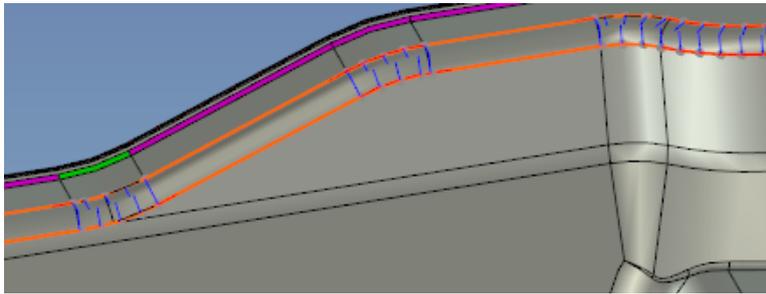
示例：

若我们想要生成的轨迹（橘色线）如下：



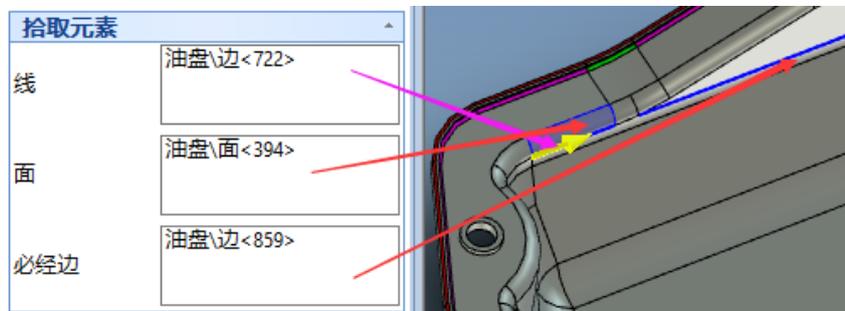
图示：生成的轨迹

生成轨迹时，若不选择一条必经边，那么轨迹效果会如图示，轨迹路径默认的是向上的方向：



图示：未拾取必经边

这时选中一条必经边



图示：拾取必经边

即可生成想要的效果。

- **拾取终止点：**拾取终止轨迹的一个点。



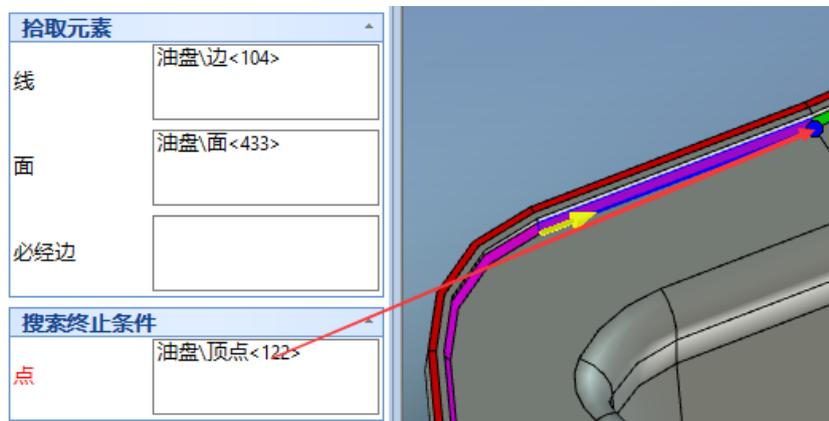
图示：拾取终止点

\*终止点只能在前面已拾取的面上，不能在所选面之外的地方。

若希望轨迹在某一处结束，则需要拾取终止点以终止搜索。

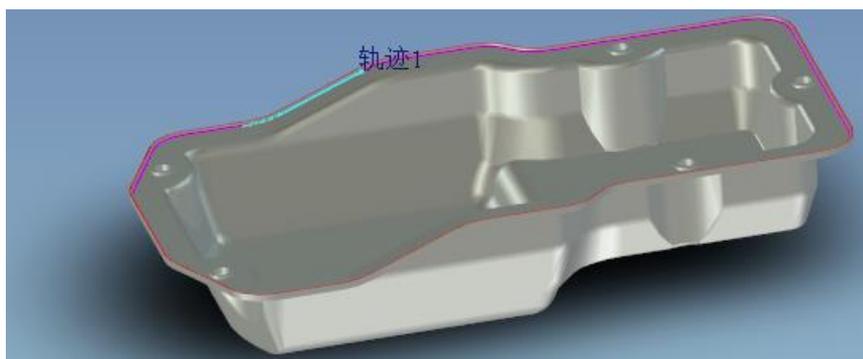
示例：

若只想在油盘的某一段上生成轨迹，拾取一个终止点，如图：



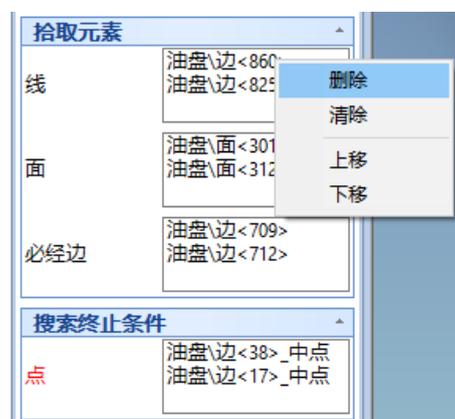
图示：拾取终止点

生成的轨迹：



图示：生成的轨迹

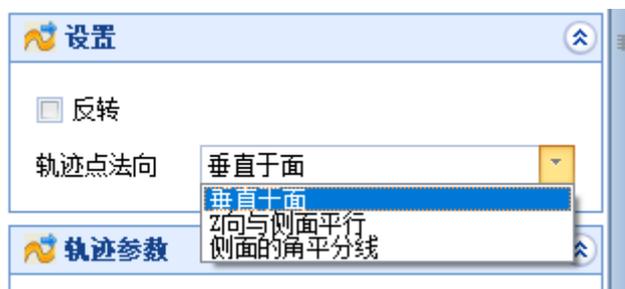
拾取元素的删除和位置移动：



图示：拾取元素的删除和位置的移动

右击“拾取元素”和“搜索终止条件”，通过下拉菜单删除/清除已选中的元素/条件。  
在元素/条件数量达到2个及以上时，可对其进行上移/下移。

## ■ 设置面板



图示：设置面板

\*【设置】中的指令适用于其他轨迹生成类型。

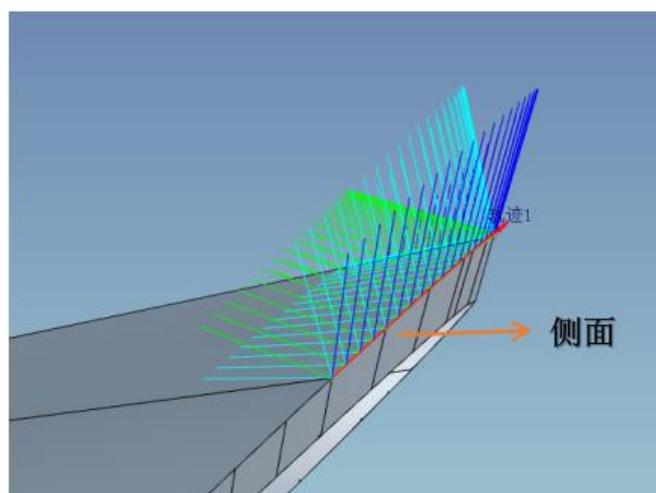
- **反转**：轨迹的序号反转。原来的起始点变成终点，终点变成起始点，中间点以此类推。该指令可改变轨迹方向，即改变机器人/工具运动方向。
- **垂直于面**：改指令会改变轨迹的 Z 轴方向，使其与面垂直。默认为垂直于面。
- **Z 向与侧面平行**：该指令会改变轨迹的 Z 轴方向，使其与侧面平行，多用于激光切割。
- **侧面的角平分线**：是轨迹的 Z 轴方向为两个面的角平分线，多用于焊接。

### 示例：

以激光切割弯管为例：

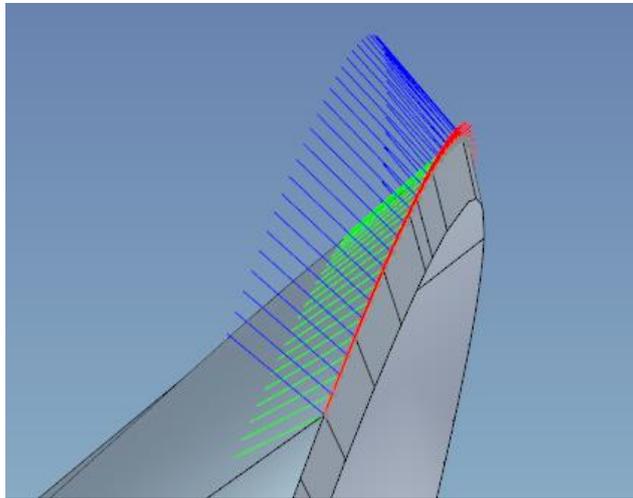
激光切割机会沿着生成的轨迹，切割 Z 轴指向的面。

勾选“Z 向与侧面平行”，可以看到轨迹的 Z 轴方向平行于侧面，表示工具会沿着 Z 指示的方向搜索面（也就是图示的侧面）。这样，切割时就会沿着侧面进行切割，从而达到想要的效果。



图示：激光切割机侧面

不勾选，可以看到 Z 轴方向与弯管的曲面垂直，不与侧面平行。这时，激光不会沿着侧面斜着切割，而是垂直切下去，不满足要求。



图示：激光切割机轨迹

同时可以选择轨迹关联的 TCP 和使用的工具。

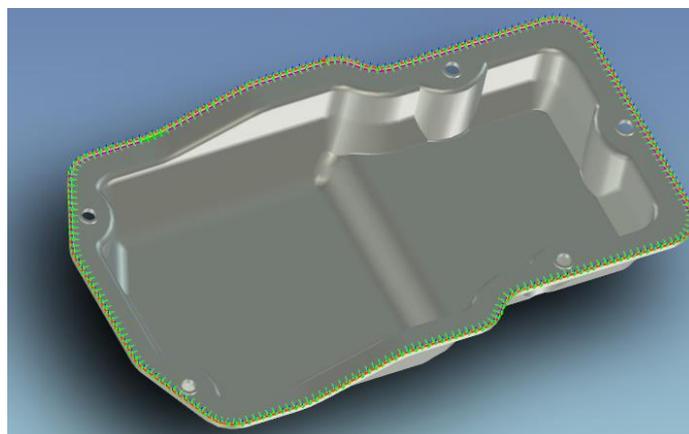
以激光切割为例，使用的工具会默认为“激光切割头”，关联的 TCP 选择为“TCP”。



图示：轨迹关联的工具和 TCP

工具和 TCP 有多个时，需要看清再选择。

完成上述步骤后点击完成按钮 ，会自动生成如图所示的轨迹。



图示：生成的涂胶轨迹

## 2.20.2 面的环

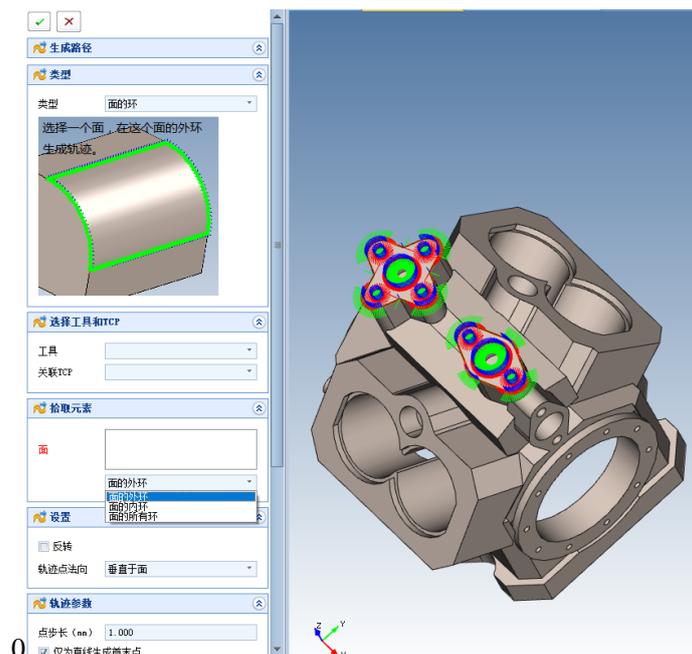
**概念：**该类型选择面作为轨迹的法向，支持一次性对面上的外环、内环、乃至所有的环一次性自动拾取并生成轨迹。

**示例：**

以零件-气缸去毛刺为例：

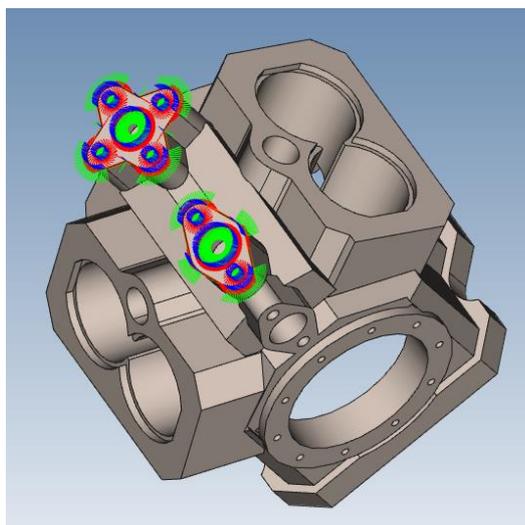
去毛刺时，打磨头的末端会沿着轨迹运动从而将毛刺去掉。

打开属性管理面板，类型栏选择【面的环】。接着，拾取元素选择一个面，拾取的面为需要去毛刺的边所在的面。



图示：“面的环”

点击完成按钮  则可以生成轨迹，如图所示。



图示：气缸去毛刺轨迹

### 2.20.3 一个面的一个环

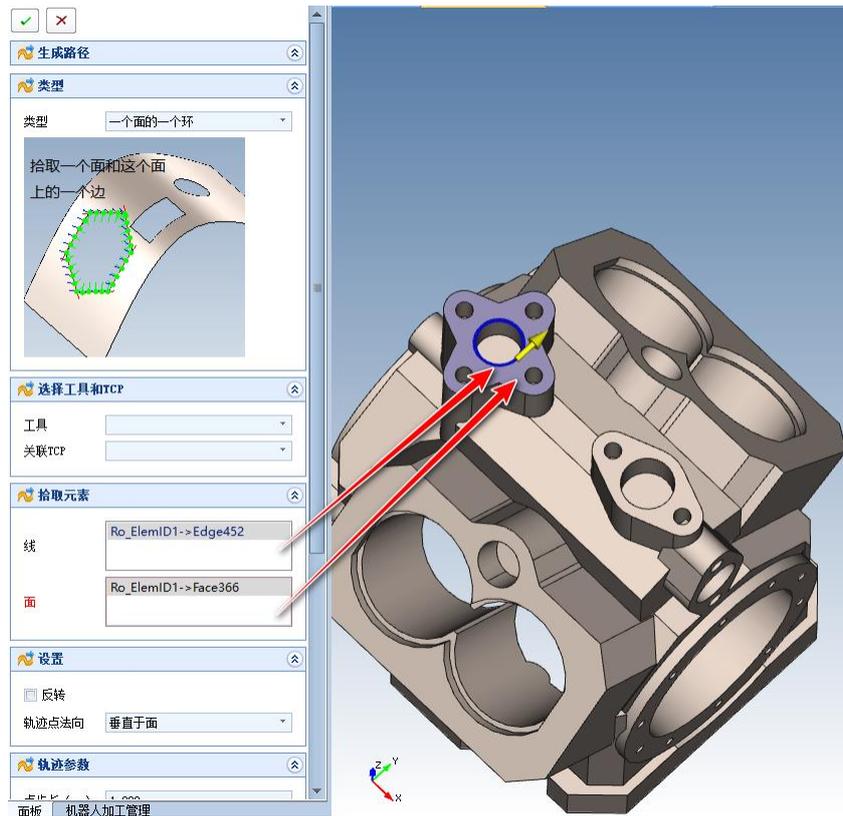
**概念：**这个类型与一个面的环类型相似，但是多了一个功能，即可以选择简单平面的内环。

**示例：**

以气缸去毛刺为例，去毛刺时，打磨头的末端会沿着轨迹运动从而将毛刺去掉。

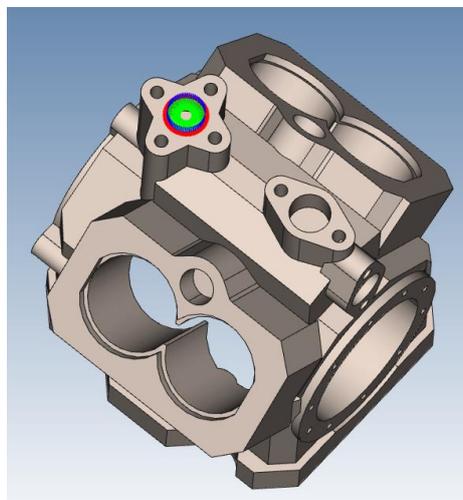
打开属性面板，在类型中选择【一个面的一个环】，拾取零件的线和面。

拾取的线为需要去毛刺的边，拾取的面为边所在的面。



图示：“一个面的一个环”

拾取元素选择完毕之后，点击完成按钮 ，即可生成轨迹：



图示：“一个面的一个环”轨迹

## 2.20.4 曲线特征

**概念：**由曲线加面生成轨迹，轨迹 Z 轴指向的面作为轨迹法向。

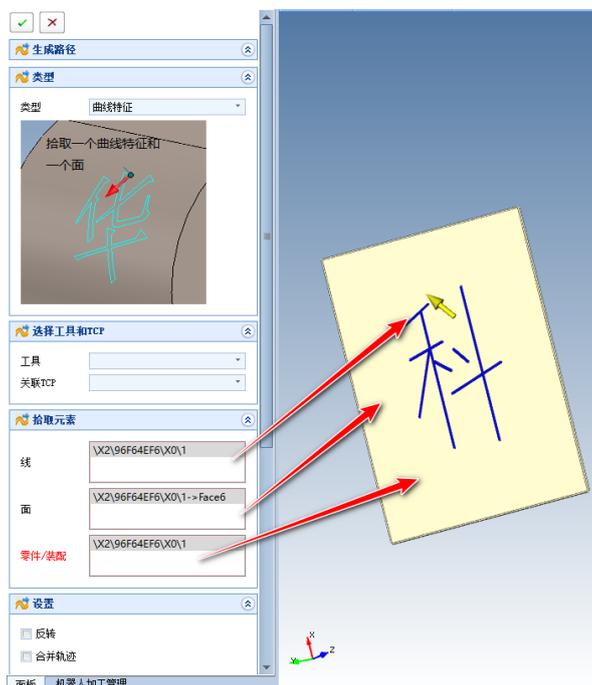
**示例：**

以机器人写字为例：

机器人以模型零件上生成的轨迹为运动路径，写出的字与零件上的字迹一致。

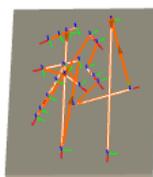
单击基础编程下的【生成轨迹】，打开属性面板，在类型中选择【曲线特征】，拾取一条线、一个面和零件/装配。

拾取的线为想要生成轨迹的目标曲线，拾取的面为曲线所在的面，拾取的零件/装配为目标零件。



图示：“曲线特征”轨迹

点击完成按钮 ，生成的轨迹如图所示：



图示：写字轨迹

## 2.20.5 边

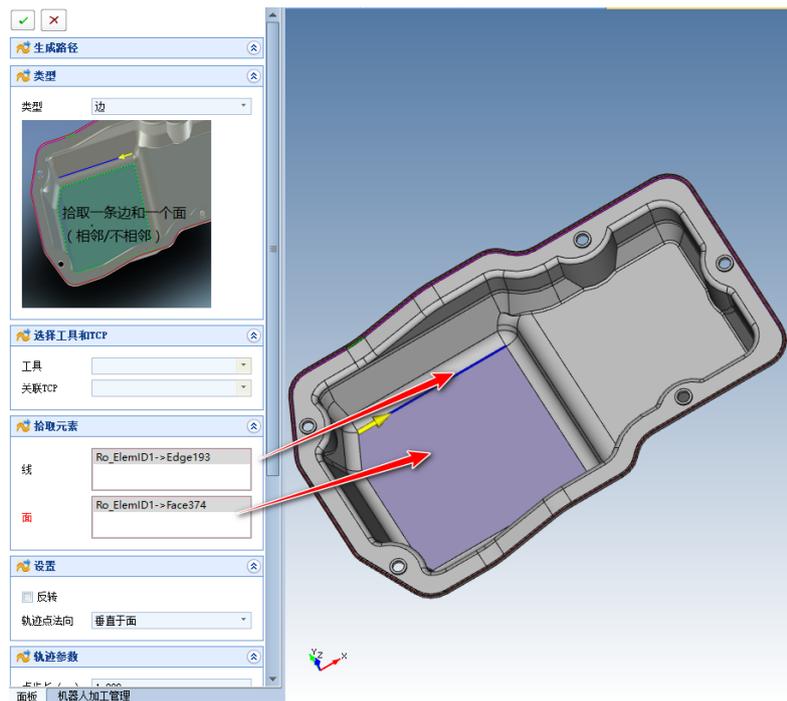
**概念：**边指的是一条单独的边，同时支持拾取多条边。它通过选择单条线段，加上一个轨迹Z轴指向的面作为轨迹法向，实现轨迹设计。拾取元素线可以不在面上，即面与边不必相邻，可灵活地拾取元素面，不受零件模型的限制。

### 示例：

以零件油盘涂胶为例：

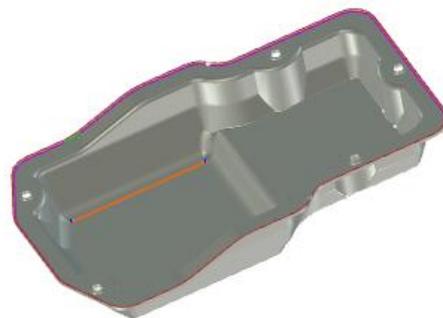
单击【生成轨迹】，在类型中选择【边】，拾取零件的线和面。

拾取元素线与面：



图示：生成涂胶轨迹

生成的轨迹如下图：

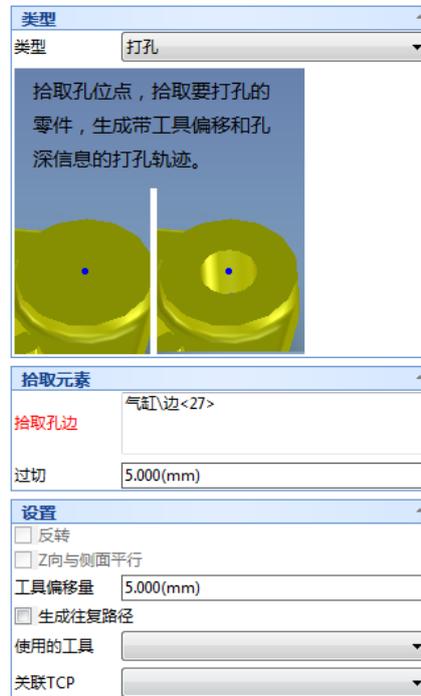


图示：涂胶轨迹

## 2.20.6 打孔

“打孔”应用于在零件上打孔时。

单击【生成轨迹】，在属性面板的类型中选择【打孔】



图示：“打孔”属性面板

- **生成往复路径：**选择该指令后，打孔时工具会上下来回移动形成往复。
- **过切：**此功能必须在勾选“生成往复路径”后才能够使用。过切数值指的是在原有打孔深度的基础上再继续深入打孔。如孔深 10mm，设定过切值 5mm，打孔时会打 15mm。
- **工具偏移量：**指的是工具在实际操作过程中偏移的数值，一般是向上沿 Z 轴的距离。

**示例：**

以零件-气缸为例：

拾取孔上的一个边，点击完成按钮即可生成轨迹。



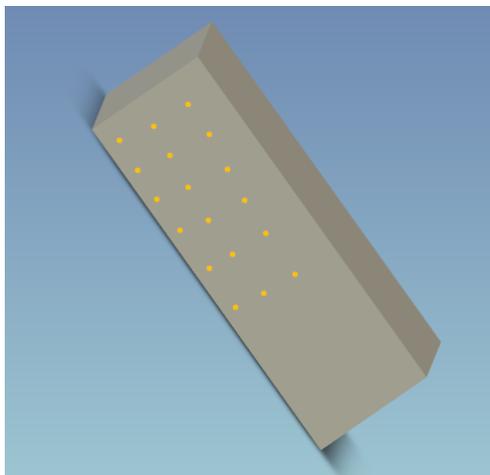
图示：生成打孔轨迹

## 2.20.7 点云打孔

**应用场景：**模型上的点数大于等于二。

**示例：**

以一个小长方体模型为例。

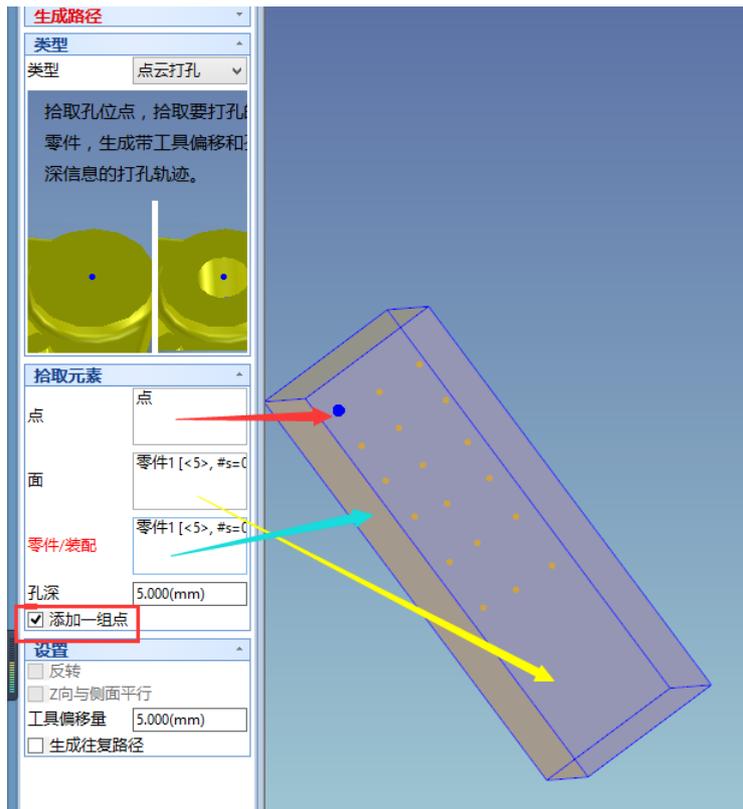


图示：长方体模型

单击【生成轨迹】，在类型中选择【打孔】

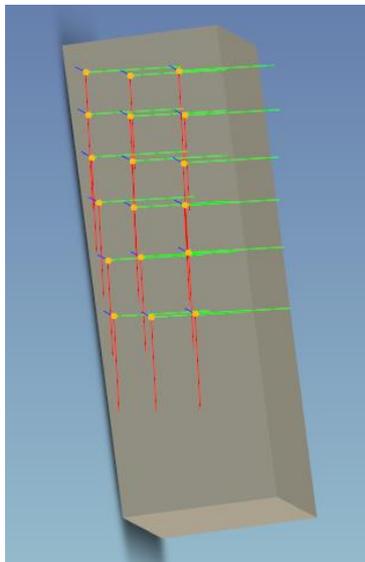
在模型上拾取元素：点，面，零件 / 装配并填入孔深。勾选【添加一组点】后，就可以打多个点。

❖ 注：【点云打孔】会依据单个点，加上面，来搜索其余的所有点。勾选“添加一组点”后，所有的孔位点都会被选中。



图示：拾取元素

点击左上角绿色对勾即可生成轨迹，如图所示：



图示：“点云打孔”轨迹

## 2.20.8 修改步长

**位置：** 机器人加工管理面板—轨迹历史—轨迹生成方式右键菜单

**说明：** 生成一条轨迹后，可修改和删除轨迹特征。其中有三种修改步长的方式：仅为直线生成首末点、必过连接点、仅为圆弧生成三个点

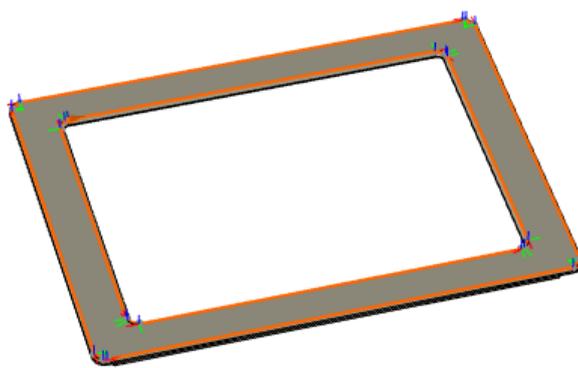
## 2.20.9 仅为直线生成首末点

**说明：** 此功能适用于直线上的轨迹，即轨迹上只会生成起始点和终点两个点，一般应用于粗加工时。

若要精细加工工件，如打磨，则需要取消该指令的勾选。默认下该指令为勾选状态。

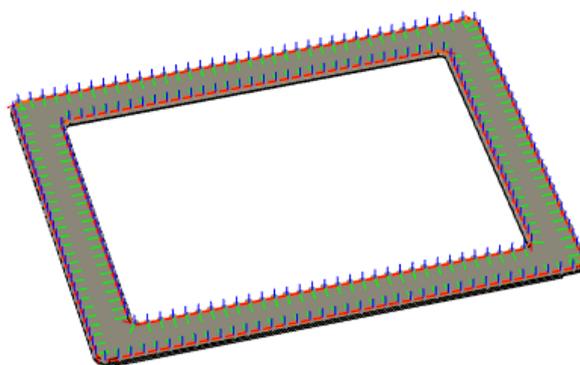
**示例：**

以零件方框为例。初始轨迹如下图：



图示：方框初始轨迹

在机器人加工管理面板上，右击“轨迹历史”下的轨迹指令，选择【修改特征】，取消“仅为直线生成首末点”的勾选后，轨迹变化如下：



图示：取消“仅为直线生成首末点”

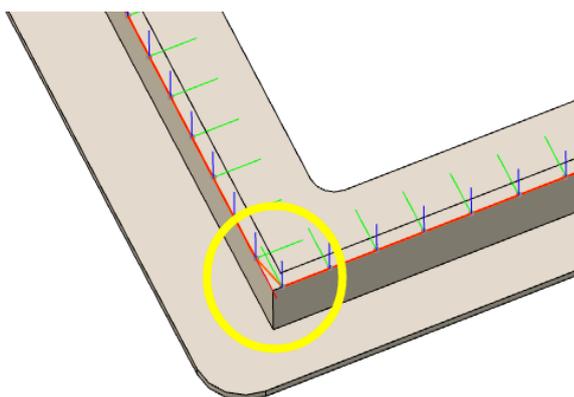
**注：** 直线上的轨迹，轨迹点的多少对实际操作效果并没有任何影响。曲线上的轨迹，轨迹点多意味着曲线轨迹更加圆滑，加工时更加精细。

## 2.20.10 必过连接点

**说明：**这里的连接点指的是两条线段的交点。必过连接点即工具必加工工件上的连接点。默认情况下，“必过连接点”为不勾选状态。

**示例：**

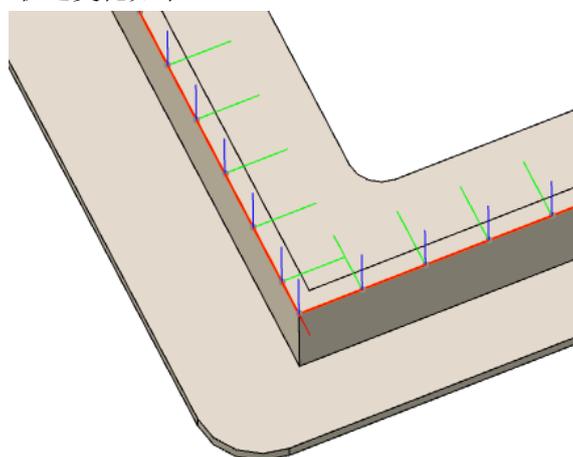
以零件方框为例，初始轨迹如下。可以发现，轨迹并没有经过长方体上面的直角点（黄圈部分）。而在实际操作过程中，轨迹需要包含该点。



图示：未过连接点

在“修改步长”的对话框中可知，此时轨迹的步长为 10mm。当长方体的边长不是 10 的倍数时，轨迹会跳过连接点（直角点），直接到下一条边。

勾选“必过连接点”后，轨迹变化如下：



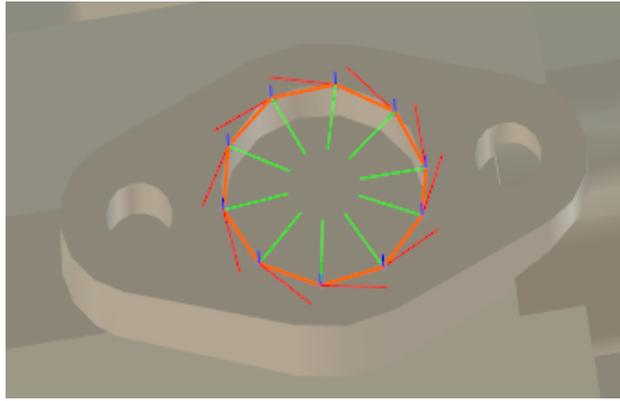
图示：必过连接点

## 2.20.11 仅为圆弧生成三个点

**说明：**该功能适用于圆弧，即圆弧上的轨迹只有三个点。一般来说，圆弧上的轨迹点更多时，加工会更精细一些。默认情况下，“仅为圆弧生成三个点”为不勾选状态。

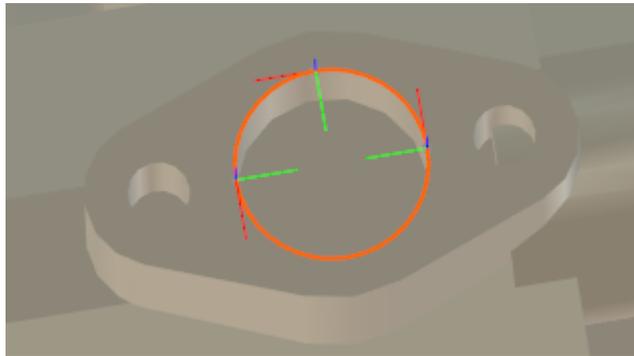
**示例：**

以气缸去毛刺为例，初始轨迹如下：



图示：去毛刺初始轨迹

仅为圆弧生成三个点的状态如下图，整个圆弧上只有三个点：



图示：仅为圆弧生成三个点

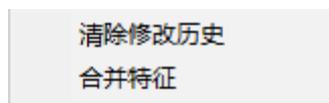
## 2.21 轨迹

### 2.21.1 轨迹历史

**位置：**机器人加工管理面板中，生成的轨迹下。

**说明：**所谓轨迹历史指的是曾经对该轨迹做的各种操作，也可以看作轨迹的特征。可在轨迹历史下查看、修改和删除轨迹特征。

轨迹历史右键菜单中的指令：



图示：“轨迹历史”右键菜单

详细描述见示例中。

**示例：**

以我们已经生成的一条轨迹为例。

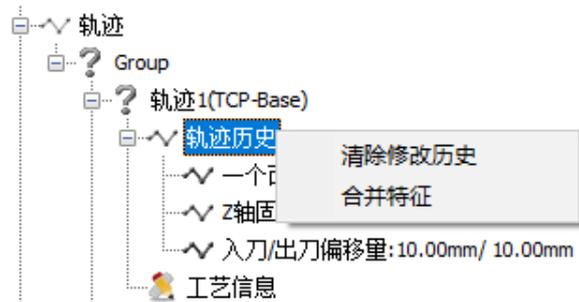
点开该轨迹前面的  后，可看到“轨迹历史”。

下图所示的“一个面的一个环”、“Z 轴固定”和“入刀/出刀偏移量”都是轨迹历史的内容。



图示：“轨迹历史”节点

- **轨迹历史的右键菜单：**包括【清除修改历史】和【合并特征】



图示：“轨迹历史”右键菜单

- **清除修改历史：**对该条轨迹所做的一切操作都会删除（除轨迹的生成方式外），清除后如下图：



图示：清除修改历史

- **合并特征：**将所有轨迹特征合并为一个：“基本方式生成轨迹”。合并后简化了树形图的显示，依然保留着各种特征，可看到原来的三个轨迹特征变成了“基本方式生成轨迹”。



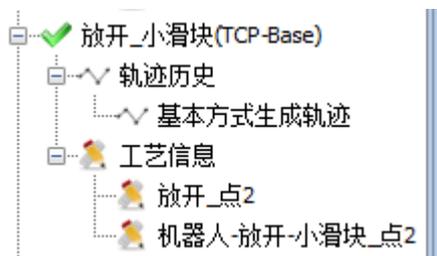
图示：合并特征

- ❖ 合并特征后，所有的特征都不可以再修改。这是因为几个特征的内容都是不一样的，没办法一起修改。

## 2.21.2 工艺信息

**位置：**机器人加工管理面板中，生成的轨迹之下。

**说明：**工艺信息指的是对轨迹（点）添加的仿真事件。凡是该条轨迹中的仿真事件都会在此显示。



图示：工艺信息

右击工艺信息下的事件，可对事件进行编辑和删除。

## 2.21.3 轨迹编辑

生成轨迹后，还可对其进行编辑。

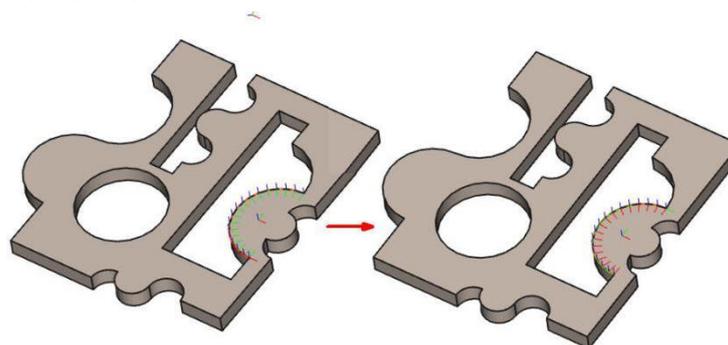
**位置：**机器人右键菜单。

**说明：**编辑的内容包括：轨迹位置和姿态的调整、轨迹的复制（保存、删除、显示和隐藏等）、轨迹的仿真与后置、轨迹的分组与注释等。根据实际情况来修改轨迹的特征。

## 2.21.4 Z 轴指向（X 轴指向）

**功能位置：**选中轨迹后的右键菜单内

**功能介绍：**选中轨迹后，单击右键菜单内的“X 轴指向”，会激活三维球；移动三维球，则所有轨迹点的 X 轴朝向会统一指向三维球中心点的位置。达到统一调整轨迹点 X 轴指向的目的。



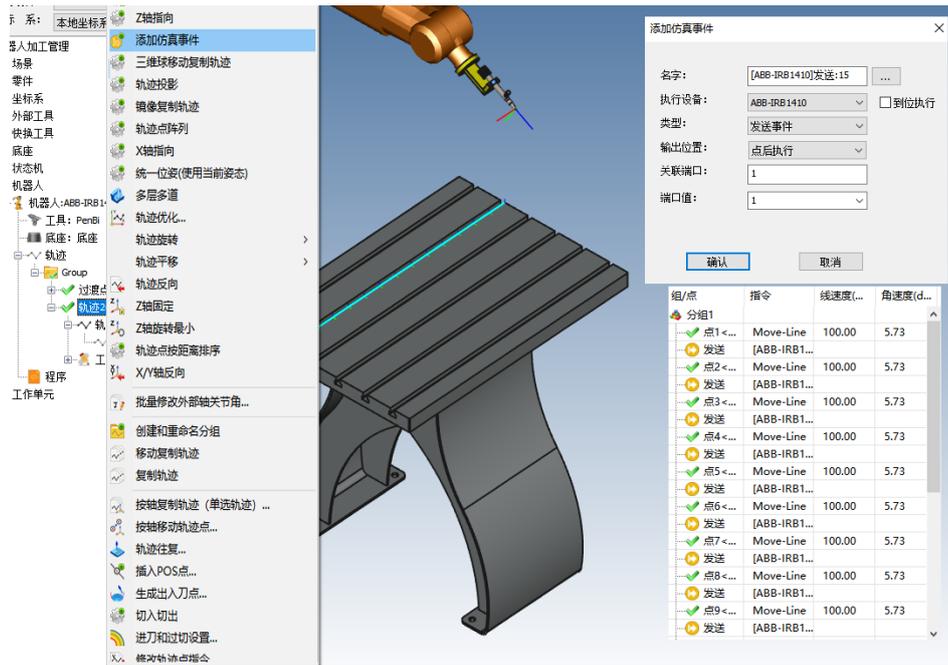
图示：X 轴指向

## 2.21.5 添加仿真事件

**功能位置：**位于生成轨迹后的右键菜单内

**功能介绍：**可以给轨迹直接添加仿真事件，添加完成之后，此条轨迹内的所有轨迹点后

面均带有仿真事件。



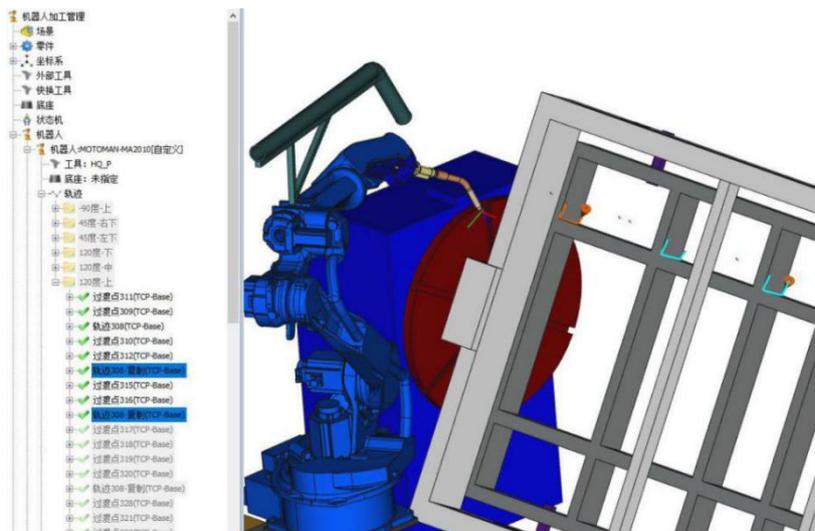
图示：轨迹添加仿真事件

## 2.21.6 三维球移动复制轨迹

**功能位置：**选中轨迹后的右键菜单内

**功能介绍：**选中轨迹后，右键启动该命令，会复制一份当前轨迹；后续通过三维球，即可将轨迹移动到新的位置；移动后的轨迹自动和被加工的零件重新建立关联。

需要注意的是：如果机器人和导轨或变位机建立了链接，则这类轨迹被复制后，其外部轴的关节角度并没有变化。后续仿真时，会发生不可控联动效果。后续需要借助轨迹的右键菜单内的“批量修改外部轴关节角”命令，对复制轨迹内的外部轴关节角加以修改才行。

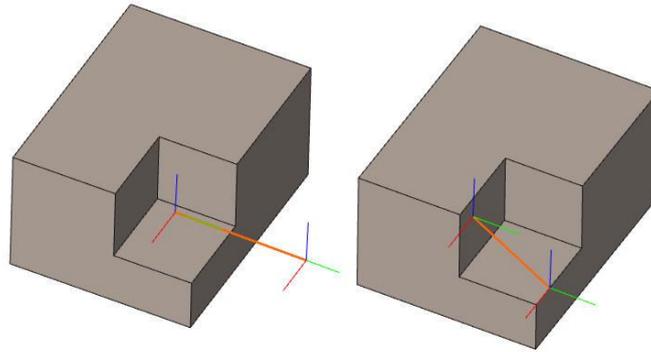


图示：三维球移动复制轨迹

## 2.21.7 轨迹投影

**功能位置：**选中轨迹后的右键菜单内

**功能介绍：**选中轨迹后，启动右键菜单内的“轨迹投影”命令，则轨迹会向四周自动搜索零件，并向其最近的位置进行投影，效果如下所示。注意：投影都是自动进行，向距离加工零件的最近位置进行投影，目前还不支持向指定方向上进行投影。



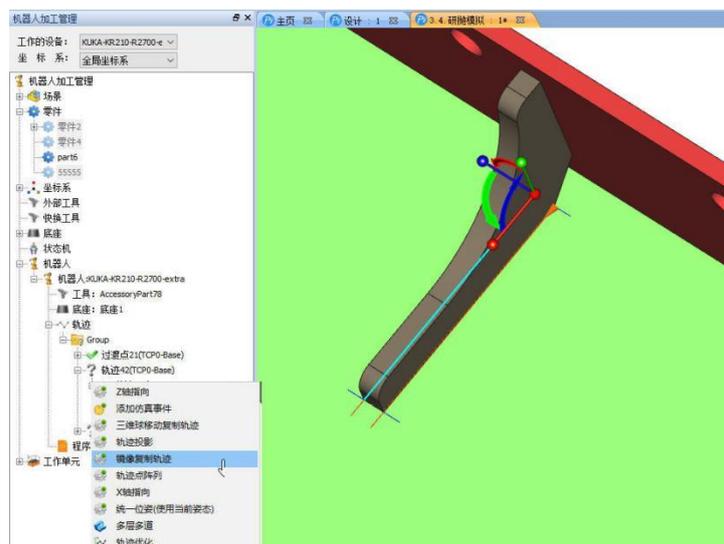
图示：轨迹投影

## 2.21.8 镜像复制轨迹

**功能位置：**选中轨迹后的右键菜单内

**功能介绍：**当加工的轨迹是对称结构时，可以使用该命令，快速生成对称面上的轨迹。

目前，该功能只能参考整个轨迹坐标系 XY 作为对称面。需要生成对称轨迹后，再通过三维球进行二次调整，后续功能细节会进一步完善。

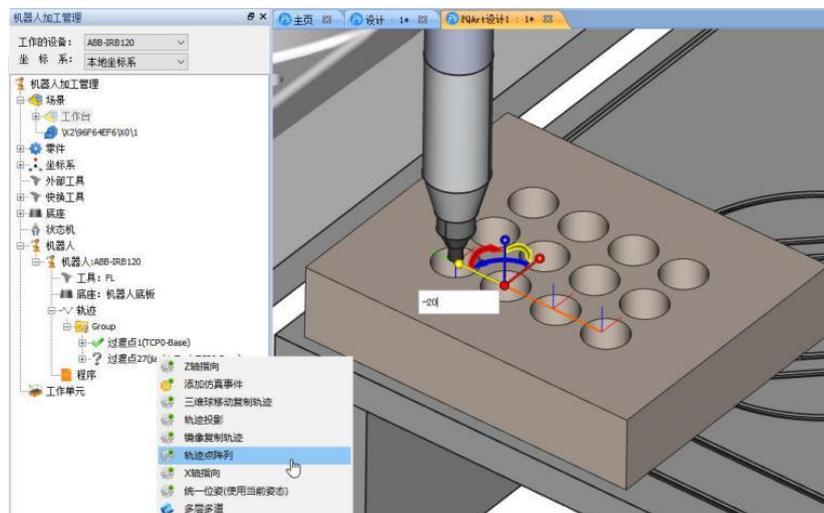


图示：镜像复制轨迹

## 2.21.9 轨迹点阵列

**功能位置:** 选中轨迹后的右键菜单内

**功能介绍:** 选中轨迹, 启动该命令后, 会弹出阵列个数设置, 后续会弹出三维球, 拖动三维球, 即可设置阵列之间的间隔值。



图示: 轨迹点阵列

## 2.21.10 按轴移动轨迹点

**功能位置:** 位于机器人加工管理面板上单条/多条轨迹的右键菜单内; 调试面板上单个/多个轨迹点的右键菜单内。

**注意:** 该功能只针对 Move-AbsJ 点。

**功能介绍:** 按照选定轴的方向来平移指定的距离。

**操作步骤:**



## 2.21.11 修改轨迹点指令

**位置:** 位于机器人加工管理面板上, 单条/多条轨迹的右键菜单内。

**说明:** 该功能用于修改单条/多条轨迹的轨迹点指令, 线速度和圆弧过渡。点指令包括 Move-Line 和 Move-Joint。用户可选择性地修改轨迹的首点、中间点和末点。

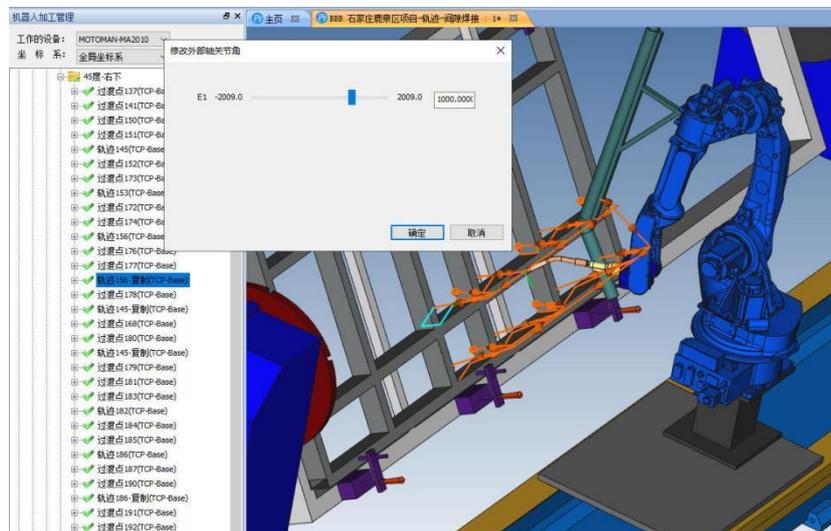


❖ 中间点指的是轨迹除首点和末点之外，其他的所有点。

## 2.21.12 批量修改外部轴关节角

**功能位置：**选中轨迹后的右键菜单内

**功能介绍：**主要是对于含有外部轴，如变位机、导轨的轨迹，通过“三维球移动复制轨迹”后，外部轴的关节并没有变化，需要通过该命令将三维球的外部轴的关节角修改为新位置时的值，否则机器人仿真时，就会出现不可以控的联动仿真。



图示：批量修改外部轴关节角

## 2.21.13 按轴复制轨迹

**位置：**调试面板的轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内；或机器人加工管理面板中轨迹点下 MoveAbsj 点的右键菜单内。

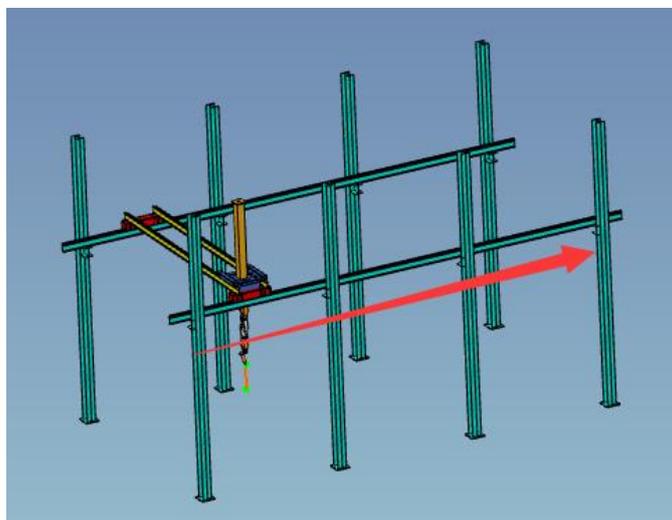
**说明：**此功能只适用于轨迹点指令为 Move-AbsJoint 的点。

这里的轴指的是机器人的轴。按轴复制轨迹点即旋转/平移运动机构的一个轴到目标位置，同时复制选中的轨迹点。平移轴按距离复制，旋转轴按照弧度复制，简化了轨迹设计。

**示例：**

以十轴机器人为例。

机器人在加工时需沿着红色箭头的方向滑行。图中已经生成了两个 Move-Absj 点。



图示：按轴复制轨迹点步骤

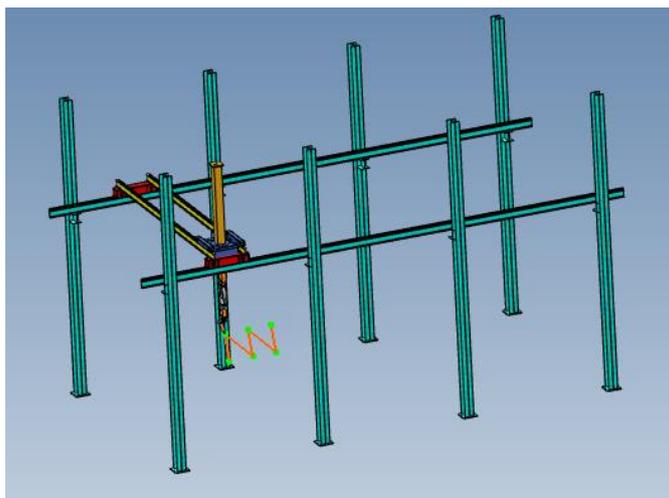
在机器人加工管理面板中选中两个 Move-Absj 点，右击，选择下拉菜单中的【按轴复制轨迹点（多选轨迹）】



图示：按轴复制轨迹点窗口

- 选择轴：复制轨迹时移动的轴(平移轴/旋转轴)；
- 差值：每份复制的轨迹点之间相隔的距离/相差的角度。如，旋转轴设置的差值为 30，则复制点 1 与点 2 之间相差 30°，点 2 与点 3 相差 30°；
- 复制份数：复制所选轨迹点的份数。

点击【确认】后，十轴机器人复制的轨迹点如下图：



图示：十轴机器人复制轨迹点效果

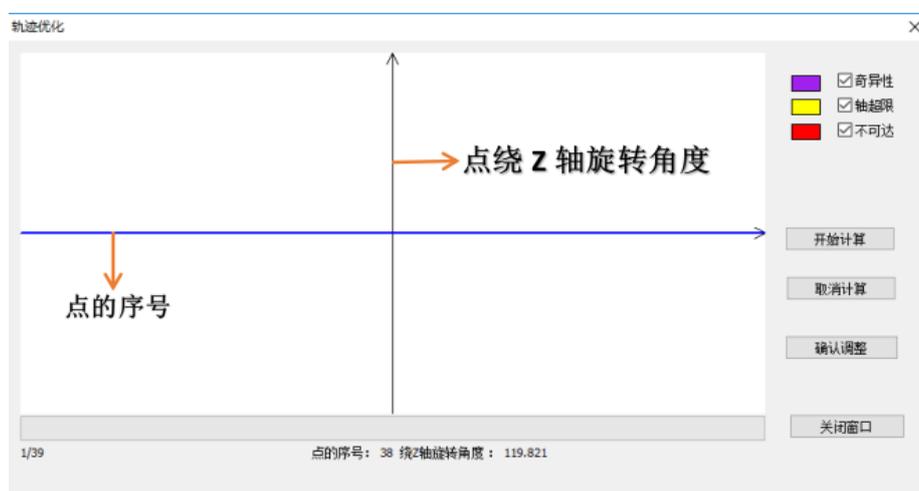
## 2.21.14 轨迹优化

**位置：** 机器人右键菜单。

**概念：** 对所选轨迹的整体调整。一方面解决轨迹中轴超限、奇异点等问题；另一方面可优化轨迹点的姿态。它默认地固定了此条轨迹所有点的 Z 轴，优化时是绕 Z 轴旋转一定的角度，角度的大小根据实际情况而定。

### ■ 轨迹优化界面介绍

轨迹优化界面提供了以下信息：轨迹点的个数，点的序号以及点绕 Z 轴旋转的角度。



图示：“轨迹优化”界面

*\*红点：不可达；黄点：轴超限；紫点：奇异点。*

- **蓝线：** 表示的是所有轨迹点的集合。  
鼠标在蓝色的水平线上移动时，轨迹点的序号也在改变。上下移动时，改变的是点的姿态，即绕 Z 轴旋转角度。
- **开始计算：** 计算出轨迹中轴超限、不可达的点和奇异点，并以不同颜色的点显示在界面

中。一次轨迹优化后，轨迹点姿态数据信息已保存，在此基础上可再次点击【开始计算】进行第二次优化。

- **取消计算：**用来终止计算，一般适用于轨迹点较多的轨迹。
- **确认调整：**确认并保存当前对轨迹点姿态的调整。
- **关闭窗口：**关闭优化窗口，直接关闭不会保存所做的任何调整。

**优化方法：**将蓝线拖动到黄色区域的空白区（机器人工作的最优区）。

**示例：**

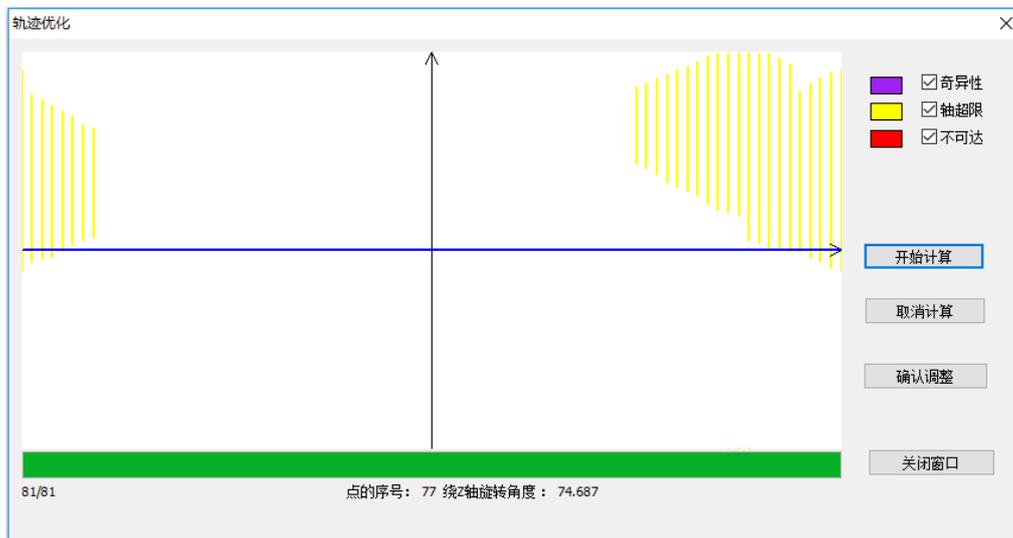
以油盘涂胶为例进行轨迹优化。

可以看到轨迹上有许多黄点，可利用【轨迹优化】指令对其进行调整。

**调整步骤：**

打开优化界面，点击【开始计算】后，界面上会出现黄色区域，表明机器人在这些区域出现了轴超限的问题。

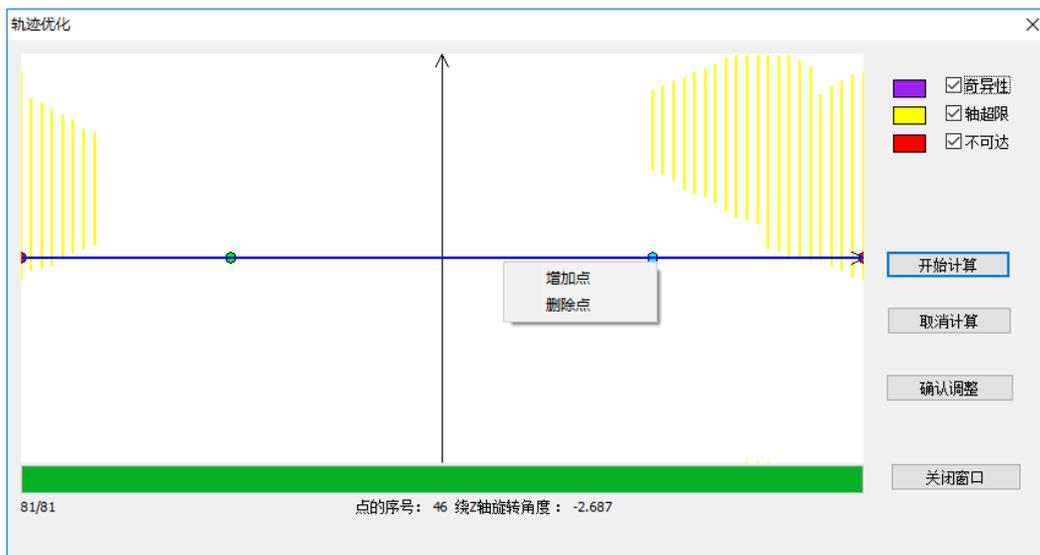
接下来就需要将蓝线拖拽到白色区域。



图示：轨迹优化步骤

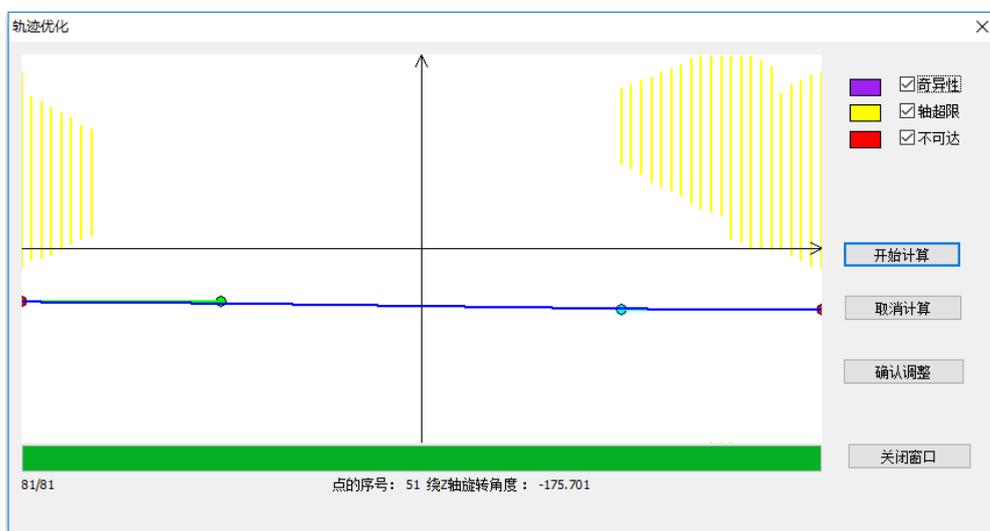
单击蓝线，线上出现四个绿色/紫色的点，这些点用于拖动蓝线离开黄色区域从而调整轨迹点的姿态。

右击蓝线，可根据需求选择增加/删除调整点。



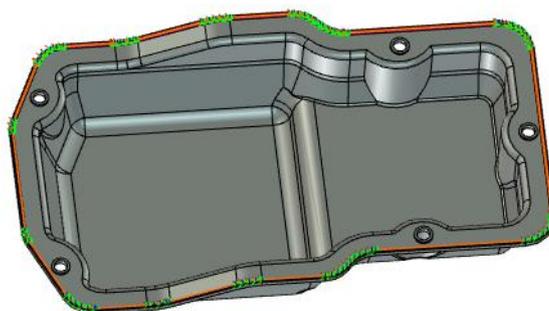
图示：轨迹优化步骤

利用调整点，拖动蓝线离开黄色区域。



图示：轨迹优化步骤

点击【开始计算】，确认优化无误后，点击【确认调整】，之后就可以关闭窗口了。优化后的轨迹如下图，所有的轨迹点都变为了绿色。

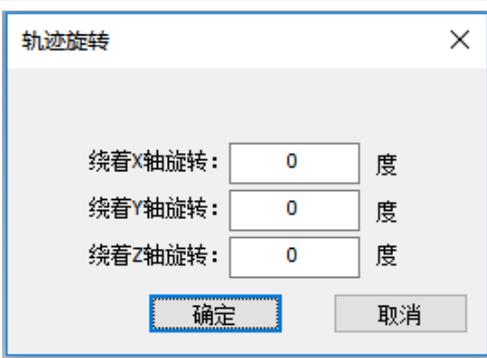


图示：轨迹优化效果

### 2.21.15 轨迹旋转

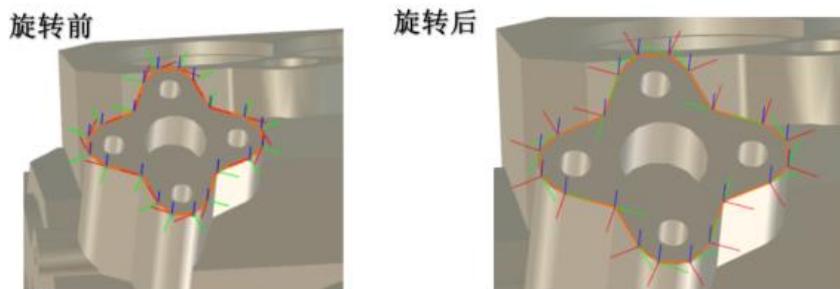
**位置：**位于轨迹右键菜单内。

**说明：**轨迹旋转即让轨迹上的所有点旋转指定的角度，用于调整轴超限的点，或者改变轨迹姿态以满足其他需求，可选择性地决定让轨迹绕着 X Y Z 三个方向旋转。

	标准旋转	三维球旋转
概念	通过对话框输入具体的旋转角度值，旋转角度根据实际情况填写,然后点击【确定】即可。	利用三维球来旋转整条轨迹。点击此指令后，三维球会默认弹出在轨迹的第一个点上。
区别	输入具体数值来进行旋转，比较精确。	可实时观察到轨迹点姿态和对其调整的效果，更加直观。
图示		

**示例：**

以零件气缸为例，平移前后的轨迹对比图如下：



图示：轨迹旋转前后对比

### 2.21.16 轨迹平移

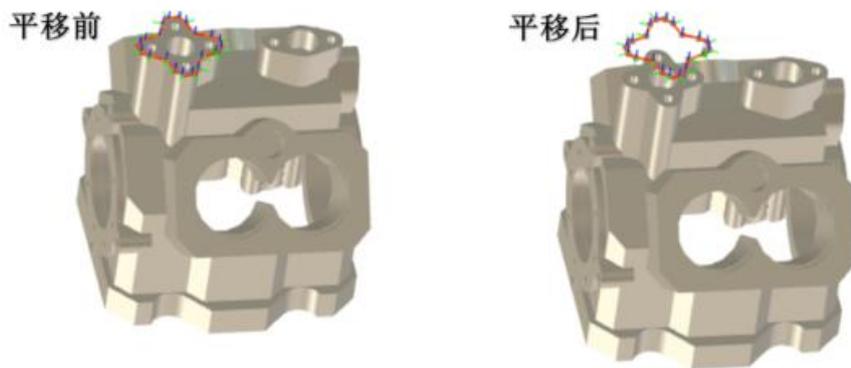
**位置：**位于轨迹右键菜单内。

**说明：**轨迹平移即将轨迹沿着 X Y Z 三个坐标轴的方向平移一定距离。

	标准平移	三维球平移
概念	通过对话框输入具体的平移角度值，平移距离根据实际情况填写，然后点击【确定】即可。	利用三维球来平移整条轨迹。点击此指令后，三维球会默认弹出在轨迹的第一个点上。
区别	输入具体数值来进行平移，比较精确。	可实时观察到轨迹点姿态和对其调整的效果，更加直观。
图示		

#### 示例：

以零件气缸为例，平移前后的轨迹对比图如下：



图示：轨迹平移前后对比

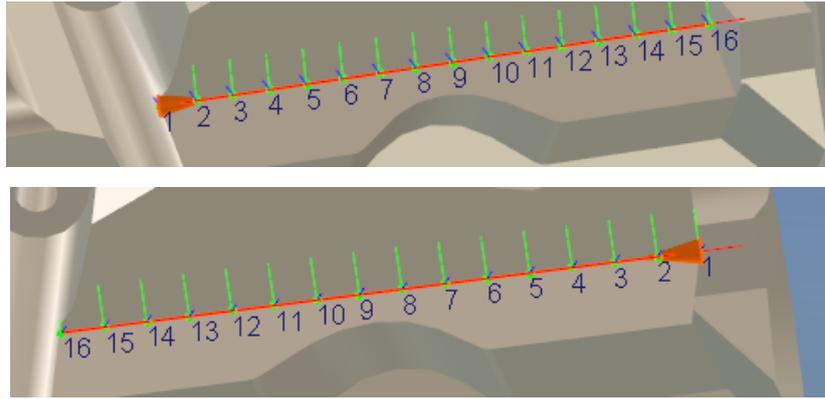
### 2.21.17 轨迹反向

**位置：**位于轨迹右键菜单内。

**说明：**轨迹反向是指轨迹的起始点变为终点，终点变为起始点。这一指令可使机器人运动路径反向。

#### 示例：

如下图，序号为1的点，当选择轨迹反向之后，轨迹起始点变为了终点。



图示：“轨迹反向”示意

### 2.21.18 Z 轴固定

**位置：**位于轨迹右键菜单内。

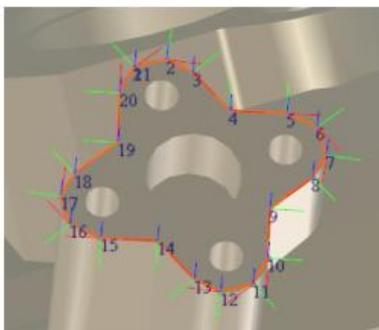
**说明：**轨迹中所有点的三个坐标轴与第一个点的对应的三个坐标轴平行。Z 轴固定可使工具转动幅度变小，从而不容易发生碰撞。同时适用于调整轴超限的轨迹点。

**示例：**

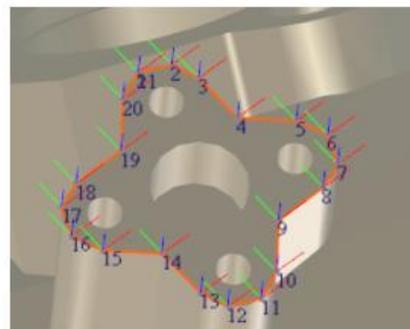
以气缸去毛刺为例：

各个轨迹点的姿态如下：

固定前



固定后



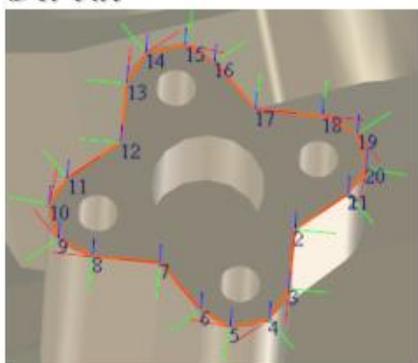
图示：Z 轴固定前后对比

### 2.21.19 Z 轴反向

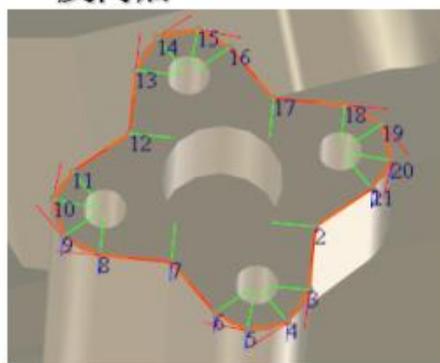
**位置：**位于轨迹右键菜单中【更多操作—Z 轴反向】。

**说明：**Z 轴反向是指以 X 轴为旋转中心，Z 和 Y 两轴旋转 180 度，可对工具加工方向（Z 轴）进行调整。

反向前



反向后



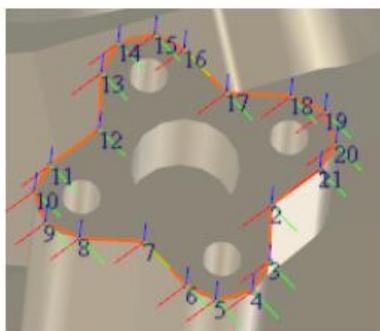
图示：Z轴反向前后对比

## 2.21.20 X轴反向

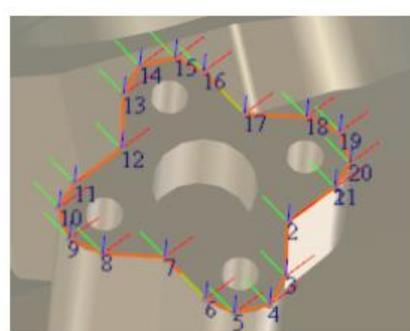
**位置：**位于轨迹右键菜单内。

**说明：**X轴反向，是以Z轴为中心，X轴旋转180度，Y轴旋转180度。

反向前



反向后



图示：X轴反向前后对比

## 2.21.21 XY轴固定

**位置：**位于轨迹右键菜单中【更多操作—XY轴固定】。

**说明：**XY轴固定指的是XY轴形成的平面是不动的，同时Z轴的指向不变但是Z轴可以旋转。

## 2.21.22 复制轨迹

**位置：**位于轨迹右键菜单内。

**说明：**复制轨迹即对选中的单条/多条轨迹进行复制，用于执行相同/相近的轨迹操作，可避免了二次生成相同轨迹的繁琐。复制的轨迹与原轨迹在位置和姿态上完全一致。

## 2.21.23 轨迹往复

**位置：**位于轨迹右键菜单内。

**说明：**轨迹往复指的是，机器人运行完原轨迹后，反方向再次运行该条轨迹，一般应用于精细加工时对零件反复进行加工。

如打磨工艺中需要使用【轨迹往复】来反复打磨一个面。

打孔时使用【轨迹往复】来打孔。

## 2.21.24 切入切出

**功能位置：**选中轨迹后的右键菜单内

**功能介绍：**通过该命令，可以实现刀具加工时切入和切出时的方向，按预显设定的轴向（X正反方向、Y正反方向、Z正反方向），进行直线切入切出或圆弧切入切出轨迹的添加。

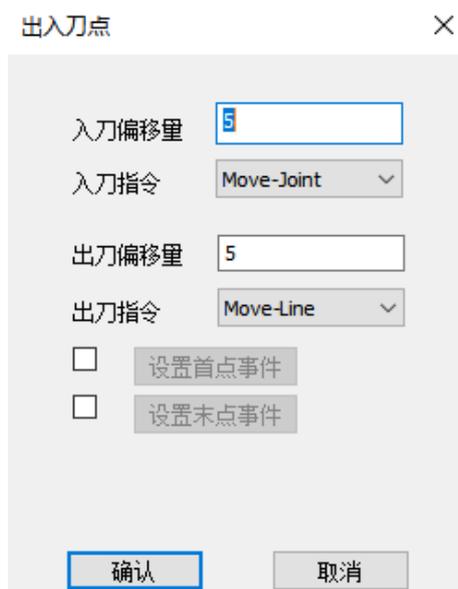
偏移量的设置，需参考当前选中轨迹内轨迹点的坐标朝向。使用该功能时，选中轨迹内的轨迹点的坐标会显示出来，以供设置偏移量及决定其正负。比如：

将来要生成的入刀点或出刀点，相对于当前高亮的坐标系，位于其某个轴的负方向上，则选择该轴后，偏移量应该输入负值；反之，需要输入正值。

## 2.21.25 生成出入刀点

**位置：**位于轨迹右键菜单内。

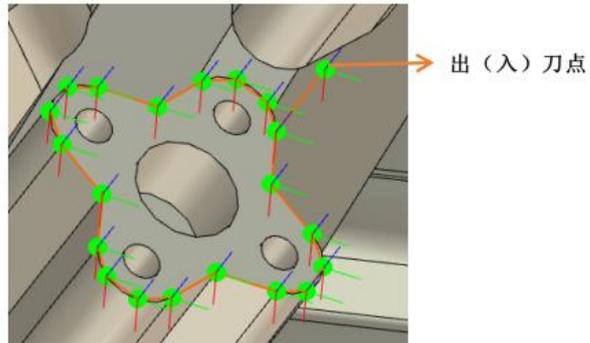
**说明：**生成出入刀点是在轨迹的起始点和终点分别生成一个点作为工具的入刀点和出刀点，符合实际工艺需求，可使机器人尽量避免发生碰撞。



图示：“出入刀点”界面

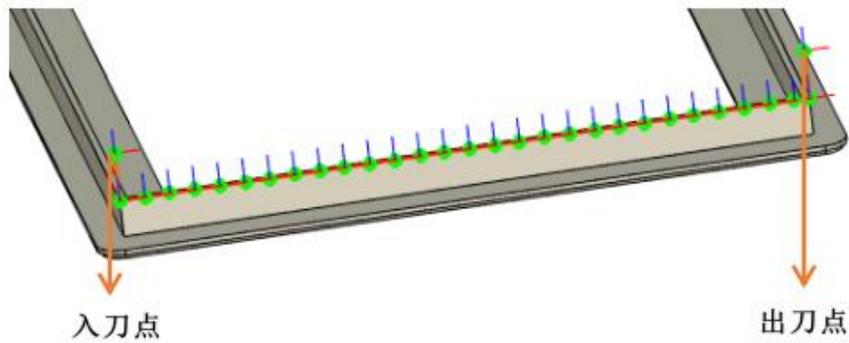
**出入刀偏移量：**工具出刀点和入刀点分别距离第一个轨迹点和最后一个轨迹点的距离。单位是 mm。

闭环轨迹的出入刀点：



图示：闭环轨迹的出入刀点

直线轨迹的出入刀点：



图示：直线轨迹的出入刀点

## 2.21.26 插入 pos 点

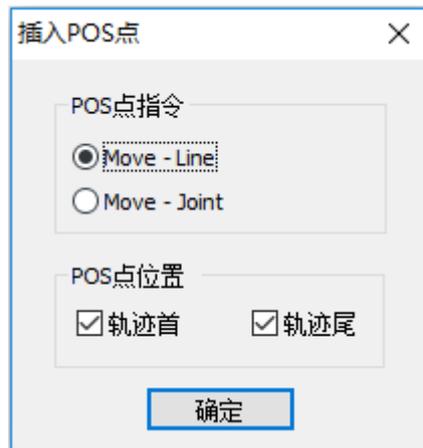
**位置：**位于轨迹右键菜单内。

**说明：**轨迹右键的【插入 POS 点】与生成[出入刀点](#)类似，插入一个 POS 点，会在工具 TCP 位置插入一个点。

指令包括 Move-Line（线性运动）和 Move-Joint（关节运动）两种。还可以选择 POS 点的位置是在轨迹首还是在轨迹尾。

轨迹首：只在轨迹第一个点前生成入刀点。

轨迹尾：只在轨迹最后一个点后生成出刀点。



图示：“插入 POS 点”界面

## 2.21.27 进刀和过切设置

**位置：**位于轨迹右键菜单内。

**功能位置：**功能位于选中轨迹后的右键菜单内。

**功能介绍：**该功能界面分为“进刀设置”和“过切设置”两部分。

◆进刀设置，用于生成到达原轨迹前的进刀轨迹路径。

**进刀量：**进刀轨迹起始层到达原轨迹时需要进刀的总量，单位：mm

**步长：**进刀轨迹间进刀的间隔量，单位：mm

◆过切设置，用于生成超越原轨迹的过切轨迹路径。

**过切量：**原轨迹到达过切轨迹最底层时产生过切的总量，单位：mm

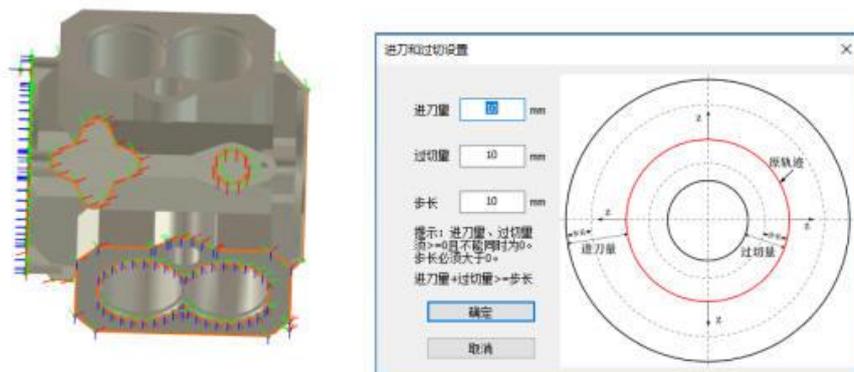
**步长：**过切轨迹间过切的间隔量，单位：mm

进刀为在目标轨迹点前生成  $n$  组点， $n = \text{进刀量} / \text{步长}$ 。进刀点为目标轨迹点沿  $z$  轴正向移动步长距离得到的点。同理，过切点为目标轨迹点沿  $z$  轴负向移动步长距离得到的点。新加的点依次放在新的点分组里。

### 示例

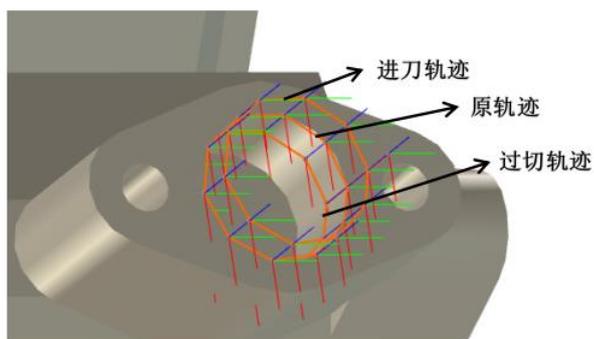
我们以气缸去毛刺为例来说明进刀和过切的设置。

填入的数据如下：



图示：进刀和过切设置

效果图：



图示：进刀轨迹与过切轨迹

## 2.21.28 保存轨迹

**位置：**位于轨迹右键菜单【更多操作-保存轨迹】。

**说明：**将选中的单条轨迹单独保存到一个工程文件中。

**导入保存后的轨迹：**

## 2.21.29 输出作业

**位置：**位于轨迹右键菜单中【更多操作-输出作业】。

**说明：**后置轨迹是将当前选中的单条/多条轨迹单独生成后置代码，方便根据实际需求后置目标轨迹。

后置操作的详细信息：[后置](#)

## 2.21.30 注释轨迹

**位置：**位于轨迹右键菜单中【更多操作-注释轨迹】。

**说明：**作用是将暂时不参与运算的轨迹注释掉。暂时要保留、不参与仿真的轨迹，可以注释掉，注释的轨迹不参与后置、仿真和真机运行。

被注释的轨迹会变为灰色：



图示：注释轨迹

**取消注释：**再次右击被注释的轨迹，可取消注释，恢复轨迹的仿真、后置效用。



图示：取消注释

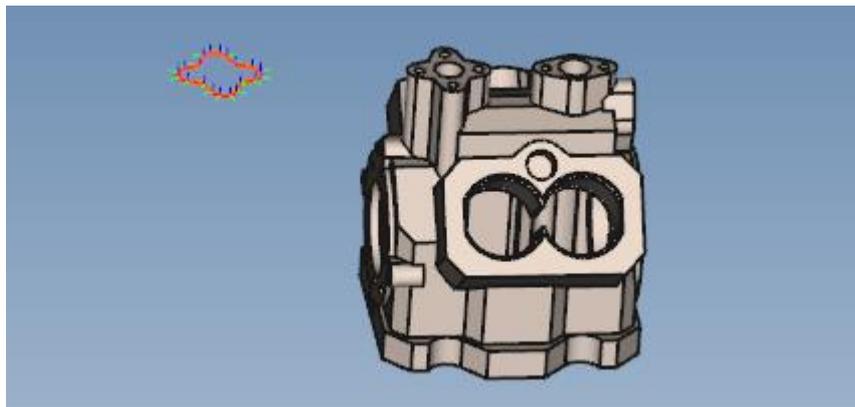
### 2.21.31 取消工件关联和添加工件关联

**位置：**位于轨迹右键菜单中【更多操作-添加工件关联/取消工件关联】。

**说明：**所谓关联指的是位置和几何上的关联。通俗来说是轨迹会随着工件的位置移动而移动，并且轨迹可根据工件的改变自动更新轨迹数据，即工件尺寸变大，轨迹可自动更新无需编辑操作。一般情况下，轨迹和工件都是相互关联的。

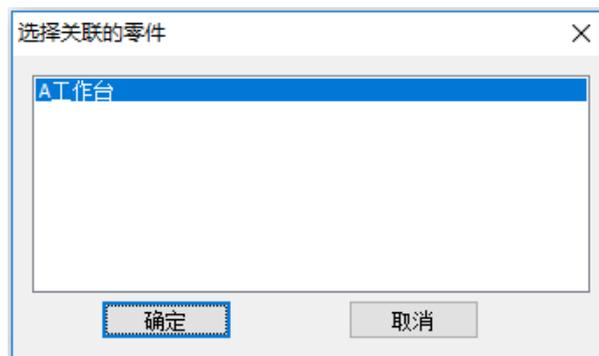
**示例：**

【取消工件关联】用三维球移动工件，轨迹还在原来的地方，不会跟着工件移动。



图示：取消工件关联

选中轨迹，右击选择【添加工件关联】后，在弹出的对话框中选择“气缸”。轨迹和零件又会重新关联上。



图示：选择关联的零件

- ❖ 有一种特殊情况：当轨迹是自己导入，而不是在软件中生成的时候，轨迹和工件是不关联的。这时，选择【添加工件关联】，那么两者就会相互关联了。

### 2.21.32 合并至前一个轨迹

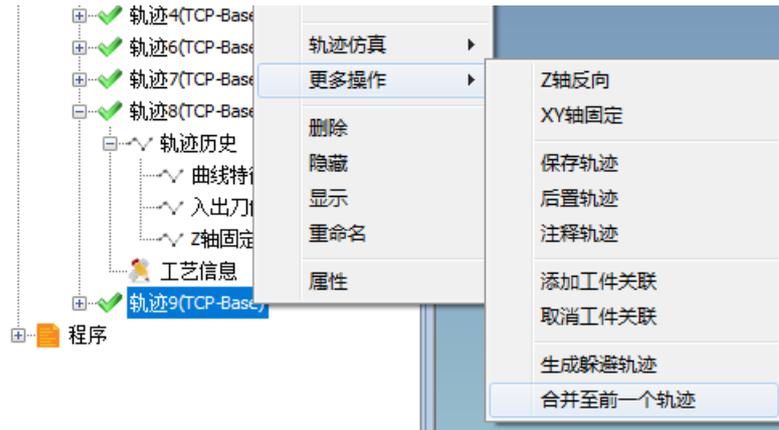
**位置：**位于轨迹右键菜单中【更多操作-合并至前一个轨迹】。

**说明：**指的是将后面的单条/多条轨迹合并到前一个轨迹。

**示例：**

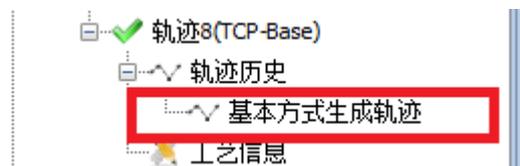
以下图所示的轨迹 8 和轨迹 9 为例。

右击轨迹 9，选择【合并至前一个轨迹】



图示：合并至前一个轨迹

这时可以看到，轨迹 9 没有了，轨迹 8 中的“曲线特征”等变成了“基本方式生成轨迹”。



图示：合并至前一个轨迹

生成的“基本方式生成轨迹”是无法修改特征的。这是因为，此时的轨迹 8 已经包含了两条不同的轨迹，而两条不同的轨迹无法同时修改特征。

合并轨迹后，仿真时一切如常。

### 2.21.33 删除，隐藏，显示和重命名

**位置：**位于轨迹右键菜单内。

**说明：**

- **删除：**删除当前选中的单条/多条轨迹。
- **隐藏：**隐藏当前选中的单条/多条轨迹。隐藏后，机器人加工管理面板中的轨迹会变成灰色，绘图区的轨迹会暂时隐藏不见。
- **显示：**重新显示已隐藏的轨迹。右击机器人加工管理面板中的轨迹，选择菜单中的【显示】即可。
- **重命名：**可更改当前所选单条轨迹的名称。

## 2.21.34 创建分组

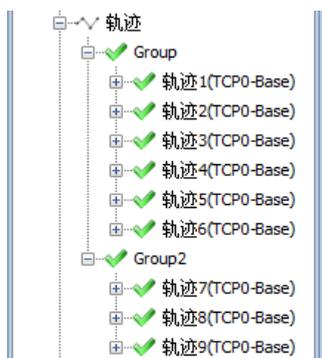
**位置：**位于轨迹右键菜单内。

**说明：**创建分组，对单条/多条轨迹进行分组。这是因为实际操作中需要对工件分区域加工，添加分组更方便管理轨迹。

**示例：**

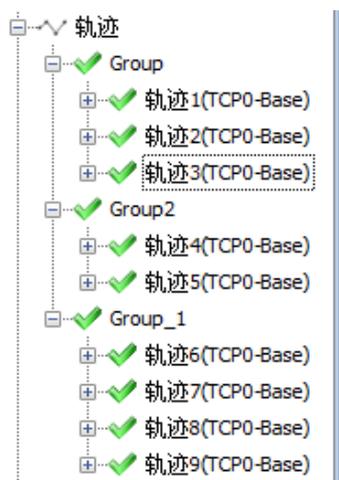
右击单条/多条相邻轨迹，对其进行分组。

◎对前端或后端的单条/多条轨迹分组：



图示：轨迹分组

◎对中间的单条/多条轨迹分组，则所选轨迹之后的轨迹会自动被分到下一组，如轨迹 4 和轨迹 5：

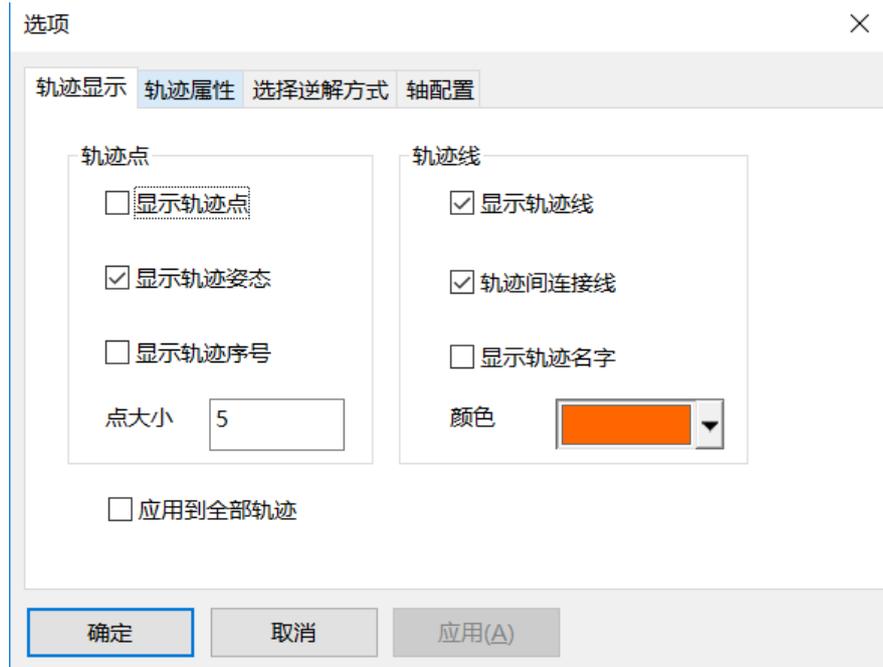


图示：轨迹分组

## 2.21.35 属性

**位置：**位于轨迹右键菜单内。

**说明：**属性即与轨迹及轨迹点相关的一系列属性和指令，在三个对话框中可方便地查看、调整这些属性和指令。

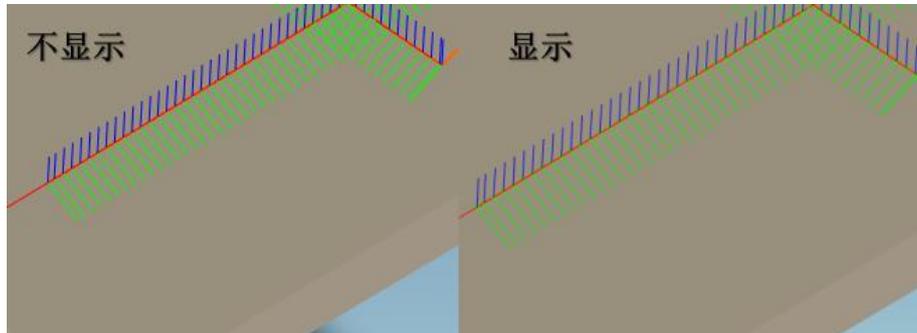


图示：“轨迹显示”界面

\*属性功能可应用于单条轨迹/多条轨迹。

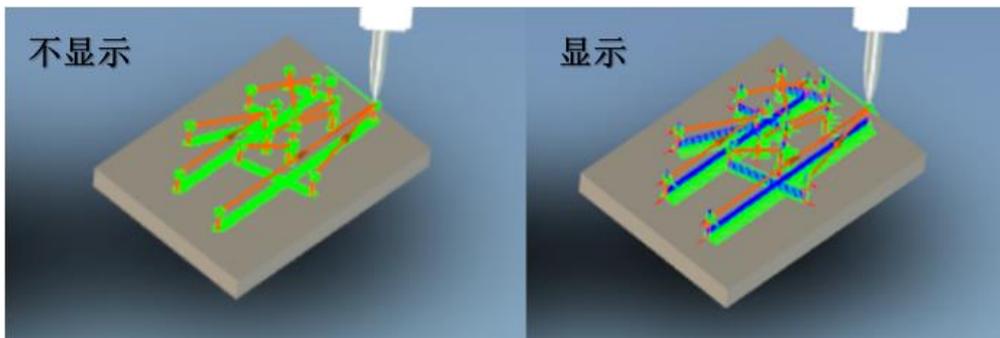
- **轨迹显示：**是否显示轨迹点、轨迹姿态、轨迹序号、轨迹线和轨迹间连接线等，并决定点的大小和轨迹线的颜色。其中，点大小数值的单位是像素。

显示轨迹点：是否显示出轨迹点。



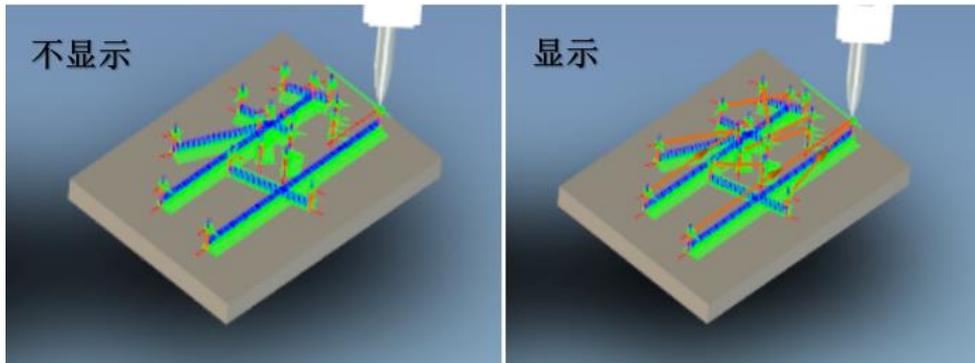
图示：轨迹的显示

- **轨迹姿态：**是否显示出点的 XYZ 三个坐标轴。



图示：轨迹姿态的显示

- **轨迹间连接线：** 是否显示出两条轨迹之间的连接线。

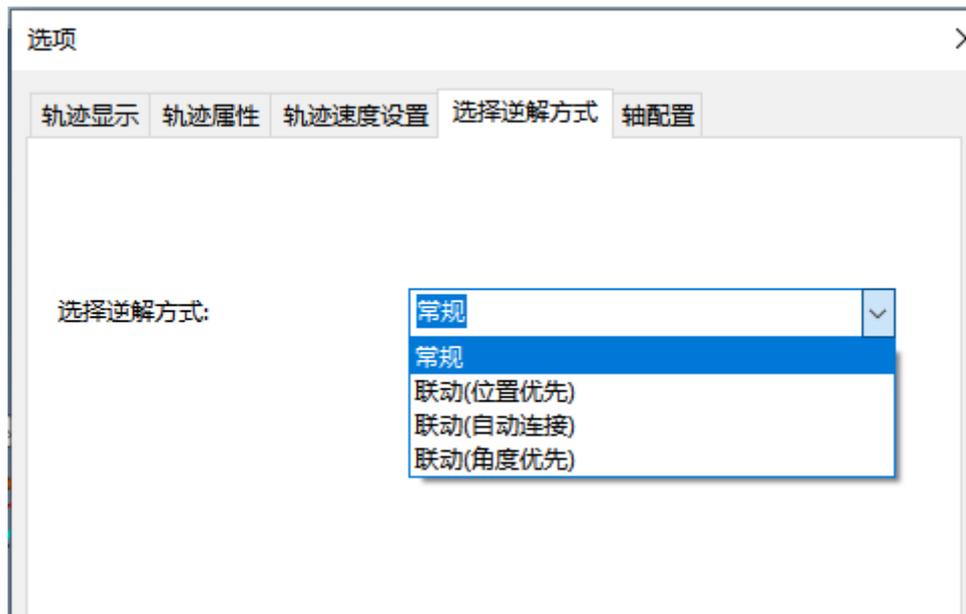


图示：轨迹间连接线



图示：“轨迹属性”界面

- **轨迹属性：** 查看并修改当前轨迹关联的零件，机器人使用的工具，以及轨迹关联的 TCP 和使用的坐标系。可从下拉菜单中进行选择，一般场景中存在多个零件、工具和坐标系时需谨慎选择。



图示：联动（位置优先）

**外部轴参与联动：**机器人+导轨的加工场景，一般要求机器人和导轨联动。在软件内，先通过创建轨迹功能生成轨迹后，选中轨迹，右键，通过设置该段轨迹的逆解方式，选取“联动（位置优先）”，配合”轨迹 Z 轴旋转最小”等轨迹修饰命令，来实现机器人和导轨联动加工的场景。



**轴配置：**是为了记录机器人在空间上奇异点的位置时，各轴的姿态状况。机器人在任意轨迹下、轨迹点下的轴配置情况，都会记录在属性的轴配置页内。且支持手动后续修改。

## 2.22 轨迹仿真

逼真形象地模拟机器人运动的路径和状态。

### 2.22.1 仿真轨迹

对当前选中的单条轨迹进行仿真（只仿真这一条轨迹）。

### 2.22.2 从此轨迹开始仿真

对当前选中的单条轨迹及其以后的轨迹进行仿真。

### 2.22.3 单机构运动到首点和多机构运动到首点

**位置：**功能位于选中轨迹中某个点后的右键菜单内。

**说明：**在多机器人环境下，选中某个机器人的某个轨迹点后，想查看机器人运动到该点时的轨迹求解状况，目前有两种办法：

- ◆单机构运动到点：该轨迹点对应的机器人、机构单独运行到该点，其他机器人、机构静止不动。
- ◆多机构运动到点：当该轨迹点对应的机器人、机构运行到该点的时间段内，场景中其余的所有机器人、机构会做同步运动。

备注：

✧ 图示列举了机器人 A，分别通过两种方式运动到点 B 时的不同情形

✧ 特别指出：单机器人场景下，分别通过这两种方式运行到点，效果是一样的

轨迹点是机器人运动路径的基本单元，若干个轨迹点组成了轨迹。

点击机器人加工管理面板中的单条轨迹后，该条轨迹的所有轨迹点都会显示在调试面板上。

一般情况下，我们主要通过调试面板来编辑轨迹点。

本单元主要介绍了轨迹点的颜色含义、指令类型和一些基本操作，了解并掌握之后，有助于我们更好地规划机器人的运动路径。

## 2.23 轨迹点基础知识

**轨迹点的位姿：**位姿指的是位置和姿态。位置即以某个坐标系为参照该点的坐标，一般用 XYZ 来表示；姿态即该点 XYZ 三个轴的朝向，一般用 ABC 来表示。

### 2.23.1 轨迹点颜色含义

◎绿色 ：轨迹点完全正常。

◎黄色 ：表示轴超限，机器人某个关节超过了它的运动范围。

◎红色 ：表示不可达点，机器人距离零件太远，此时需要调整机器人与零件之间的距离。

◎灰色 ：轨迹点的当前状态未知。

◎紫色 ：表示奇异点。

## ■ 什么是奇异状态和奇异点？

**奇异状态：**一般指工业机器人机器手臂出现的运动故障，指的是在该状态下失去了一些运动自由。就像人的手一样，如果手臂完全伸直就不能让手再伸向手臂所指的方向。而没有伸直时，手是可以往各个方向运动的，这就是一种奇异状态。而奇异点就是造成机器人出现奇异状态的点。

### 2.23.2 轨迹点操作

轨迹点右键菜单中包含了轨迹点的诸多操作，包括轨迹点的复制、编辑、删除、仿真、定义变量、添加/删除仿真事件等。

### 2.23.3 按轴移动轨迹点

**功能位置：**位于机器人加工管理面板上单条/多条轨迹的右键菜单内；调试面板上单个/多个轨迹点的右键菜单内。

**注意：**该功能只针对 Move-Absj 点。

**功能介绍：**按照选定轴的方向来平移指定的距离。

**操作步骤：**



### 2.23.4 按轴复制轨迹点（单选/多选轨迹点）

**位置：**调试面板的轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内；或机器人加工管理面板中轨迹点下 MoveAbsj 点的右键菜单内。

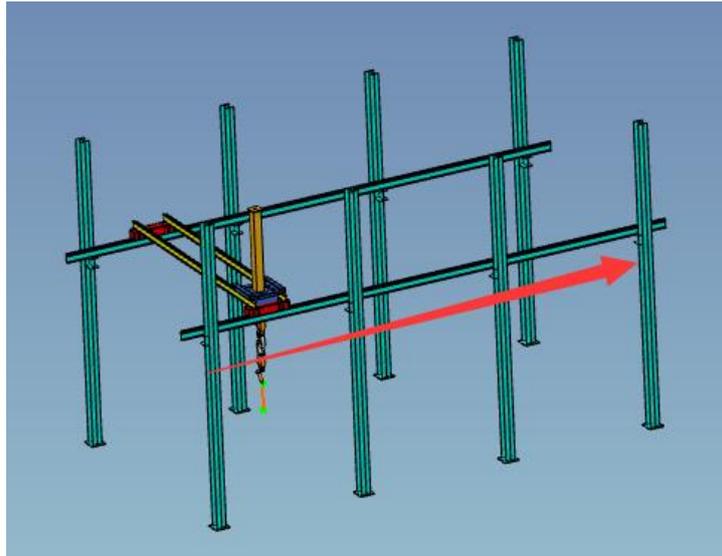
**说明：**此功能只适用于轨迹点指令为 Move-AbsJoint 的点。

这里的轴指的是机器人的轴。按轴复制轨迹点即旋转/平移运动机构的一个轴到目标位置，同时复制选中的轨迹点。平移轴按距离复制，旋转轴按照弧度复制，简化了轨迹设计。

**示例：**

以十轴机器人为例。

机器人在加工时需沿着红色箭头的方向滑行。图中已经生成了两个 Move-Absj 点。



图示：按轴复制轨迹点步骤

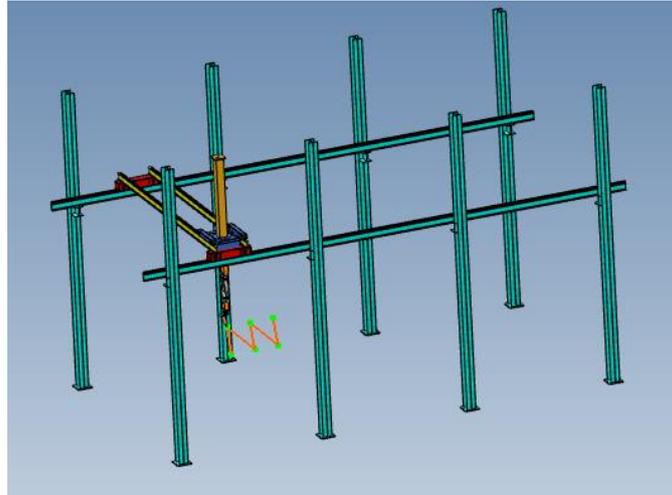
在机器人加工管理面板中选中两个 Move-Absj 点，右击，选择下拉菜单中的【按轴复制轨迹点（多选轨迹）】



图示：按轴复制轨迹点窗口

- 选择轴：复制轨迹时移动的轴(平移轴/旋转轴)；
- 差值：每份复制的轨迹点之间相隔的距离/相差的角度。如，旋转轴设置的差值为 30，则复制点 1 与点 2 之间相差 30°，点 2 与点 3 相差 30°；
- 复制份数：复制所选轨迹点的份数。

点击【确认】后，十轴机器人复制的轨迹点如下图：



图示：十轴机器人复制轨迹点效果

## 2.23.5 编辑点

**位置：**调试面板的轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

**说明：**编辑点有两种不同操作，【绝对位置】和【相对位置】。

绝对位置：轨迹点在整个世界坐标系中的位置已经固定了，整个轨迹移动，该点不动。

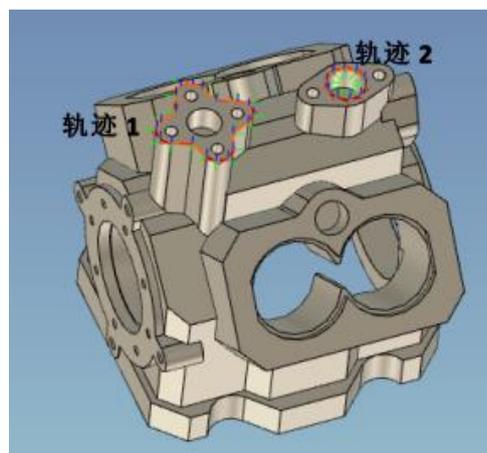
相对位置：轨迹点的位置是相对于整条轨迹来说的，整个轨迹移动，该点随之移动。

❖ 需先对轨迹进行编辑后才能区分出绝对位置和相对位置，否则“编辑点（绝对位置）”和“编辑点（相对位置）”都会默认为相对位置的效果。

❖

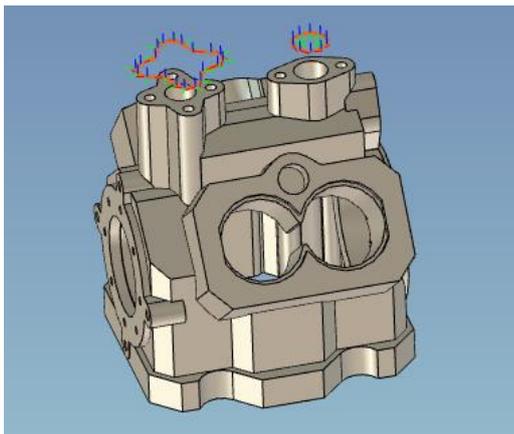
**示例**

以零件气缸上的两条轨迹为例。



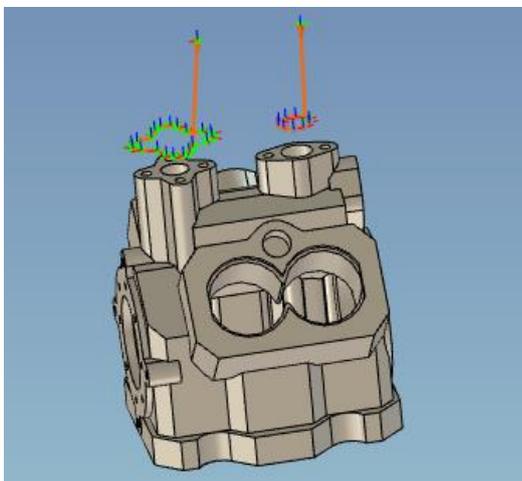
图示：气缸上两条轨迹

首先，让两条轨迹平移相同的距离后如图示：



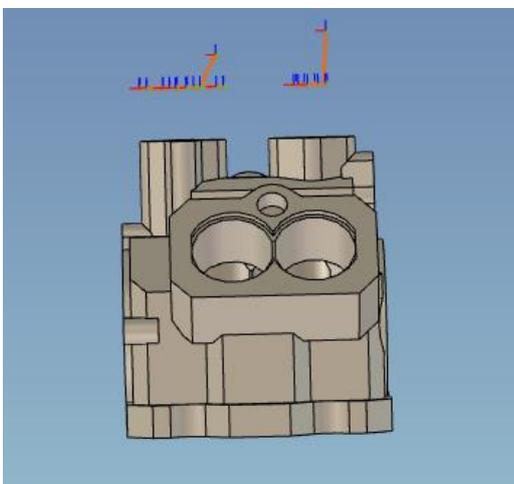
图示：轨迹平移

右击轨迹 1 上的点 1，选择【编辑点（绝对位置）】，利用三维球将点 1 沿 Z 轴平移 20mm。  
右击轨迹 2 上的点 1，选择【编辑点（相对位置）】，同样将点 1 沿 Z 轴平移 20mm。



图示：编辑轨迹点

接着，修改两条轨迹的平移特征：利用三维球将两条轨迹分别平移相同的距离。  
可以看到，轨迹 1 上的点 1 同时平移，但轨迹 2 上的点 1 位置不变。



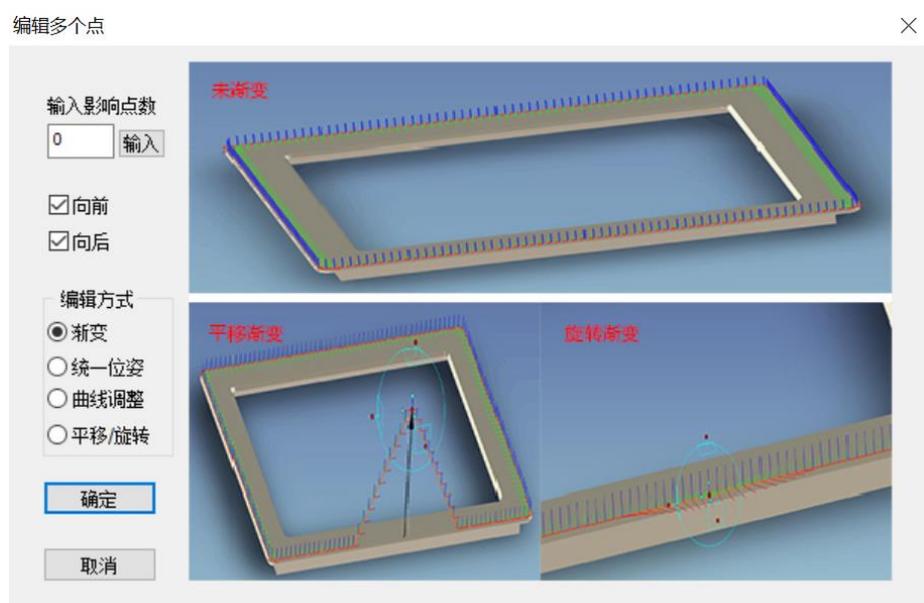
图示：编辑轨迹点效果

## 2.23.6 编辑多个点

**位置：**调试面板的轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

**说明：**编辑多个点可同时编辑多个点的位置和姿态。接下来详细说明一下包含的各个功能点。

点击【编辑多个点】，弹出图示对话框。



图示：编辑多个点界面

- **输入受影响点数目：**点击【输入】或按 Enter 键来确认点的数目。
- **向前：**影响所选点的前几个点；向后，影响到所选点的后几个点；如果向前、向后同时勾选，则会影响到所选轨迹点的前、后点。
- **渐变：**以被编辑的点为基准，被影响轨迹点的平移距离/旋转角度逐渐变小，减少值成等差数列。
- **统一位姿：**所有轨迹点的姿态与被编辑点的姿态相同(即 X Y Z 三个轴的方向平行)。
- **平移/旋转：**受影响轨迹点与被编辑轨迹点平移相同的距离/旋转相同的角度。
- **曲线调整：**通过调整模拟曲线形状来调节选中的轨迹点及其两侧指定个数点间的平滑过渡状态，从而实现对其多个点进行编辑的目的。

### 示例

#### ■ 渐变，统一位姿，平移/旋转

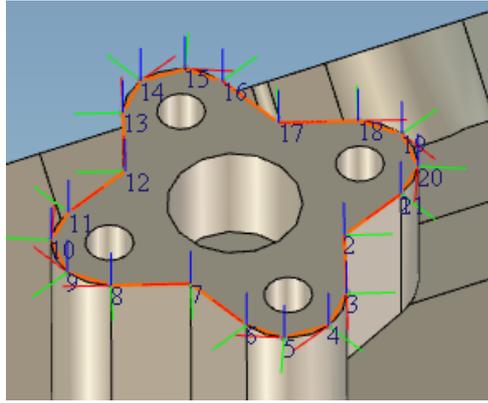
点的编辑方式有四种：渐变,统一位姿，曲线调整和 平移/旋转。

以气缸去毛刺为例，去毛刺时，打磨头的末端会沿着轨迹运动从而将毛刺去掉。

我们先来对比一下“渐变”、“统一位姿”和“平移/旋转”这三种方式。

在气缸上生成一条轨迹后，编辑多个轨迹点。被编辑的点均选择点 7，被影响的点均设为向后的 10 个点，让点 7 的 Z 轴均旋转 90 度。

初始轨迹如下：



图示：气缸初始轨迹

三种不同编辑方式：

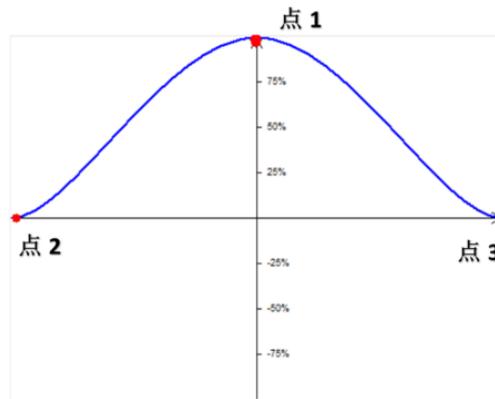
编辑方式	图示	说明
渐变		从点 7 到点 17，旋转角度分别为 $90^\circ$ ，
统一位姿		从点 8 到点 17，点的 X Y Z 三个轴的方向与点 7 均平行。
平移/旋转		从点 8 到点 17，所有点旋转的角度都与点 7 一样，均为 $90^\circ$ 。

\* 三种方式在编辑时都利用三维球来实现。

## ■ 曲线调整

以油盘涂胶为例来讲解曲线调整。

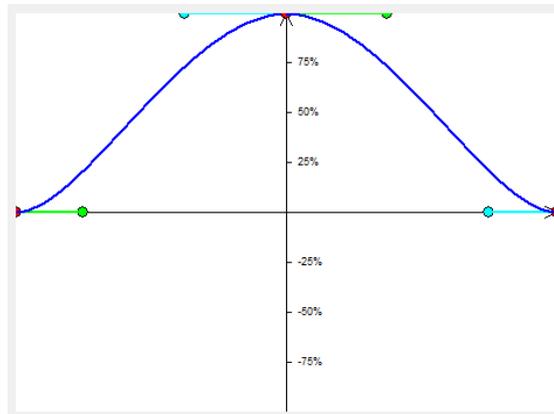
- 选中【曲线调整】后弹出图示的曲线调整界面。
  - 不勾选向前向后，曲线的顶端点 1 即为所选点；
  - 勾选向前，曲线上的点 3 即为所选点；
  - 勾选向后，曲线上的点 2 即为所选点。



图示：“曲线调整”界面示意图

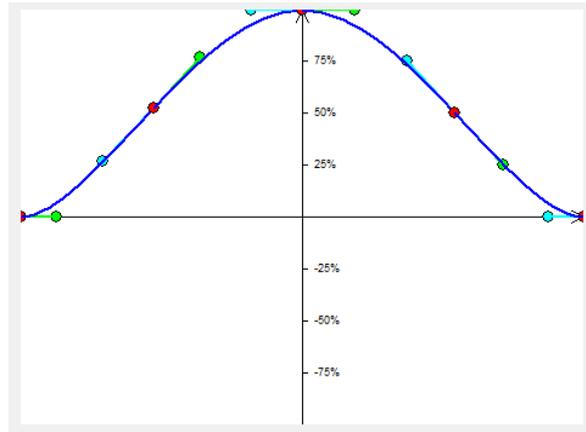
- **调控点：**调整控制曲线形状的点。单击曲线，线上会出现三段平直线段，可利用线段两端的调控点来拖动曲线改变其形状。拖动的原则是，蓝线全部位于界面的空白区（即机器人工作的最优区）。

**刻度：**平移距离/旋转角度的比例。



图示：“曲线调整”界面示意图

- **调控点的增加和删除：**右击曲线，通过  指令可增加/删除调控点。下图为增加了若干调控点的效果，提高了调整曲线的范围和灵活性。



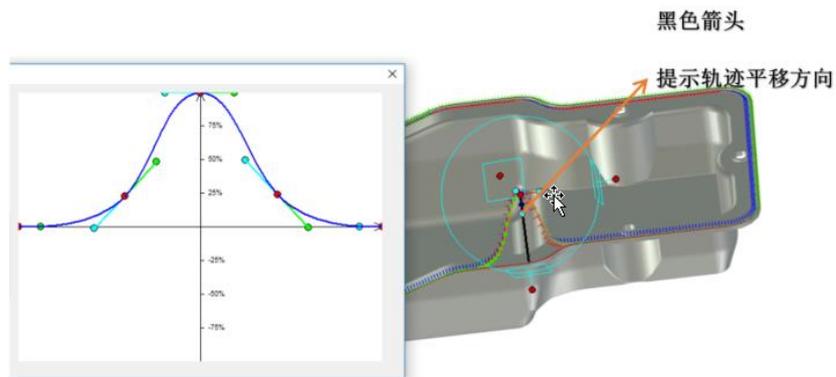
图示：“曲线调整”界面示意图

➤ **曲线调整前需要做的工作为：**

- 一，必须先用三维球将要调整的点，在要调整的方向上拖动一定的距离；
- 二，进入【编辑多个点】界面后，一定要向前或向后“影响的点数”。

➤ **曲线调整的两种常见场景**

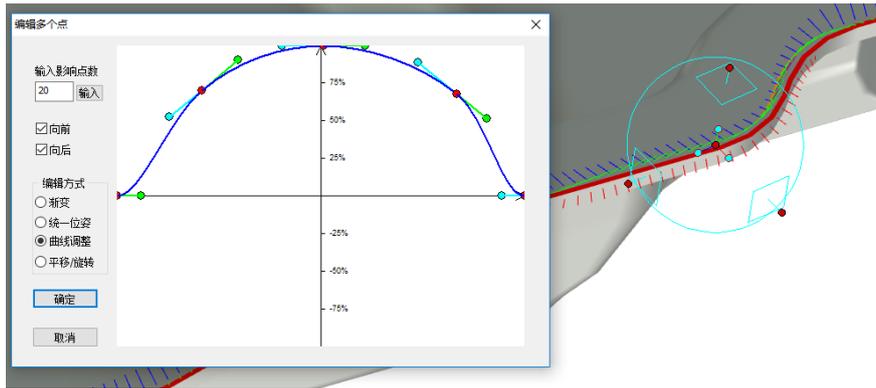
**平移：**这时曲线模拟的是轨迹点其两侧点组成的平滑过渡的形状；



图示：“曲线调整”之“平移”

❖ 图中黑色箭头只在平移的时候出现，提示轨迹点平移的方向。。

**旋转：**这时曲线模拟的是所选轨迹点及两侧点各点的空间位姿。



图示：“曲线调整”之“旋转”

## 2.23.7 删除点

**位置：**调试面板的轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

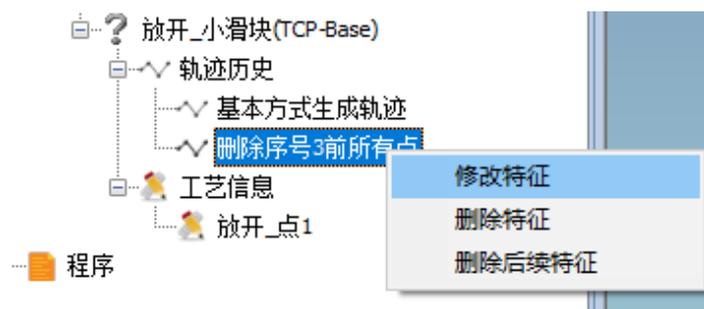
**说明：**删除点即删除选中的单个/多个点。

## 2.23.8 删除此点前（后）所有点

**位置：**位于调试面板的轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

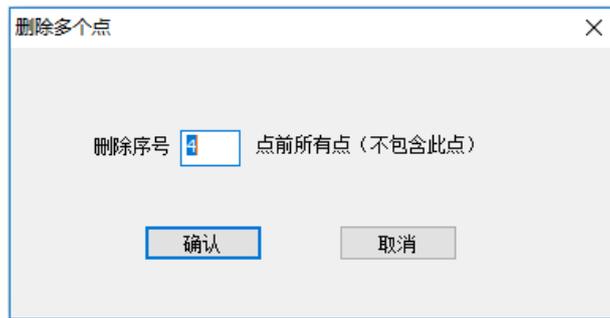
**说明：**对轨迹点进行批量删除操作时，经常会删除某点前或某点后所有点。【删除此点前/后所有点】指令，批量删除点前和点后的所有点，减少了机器人加工管理面板树形图上的特征数量，简化删除操作，并能在机器人加工管理面板中修改删除特征。指令适用于轨迹点数量大于等于 2 时。

- 一旦使用这两个命令，会将该操作的特征节点悬挂显示在“机器人加工管理面板”的轨迹历史树下。后续支持选中它，右击，进而进行修改特征、删除特征、删除后续特征操作。



图示：编辑“删除多个点”操作

- 修改特征：**再次批量删除剩余的轨迹点。



图示：编辑多个点-修改特征

- **删除特征：**删除“删除多个点”的操作指令。
- **删除后续特征：**删除本操作及其之后的所有操作。删除后，轨迹历史树下的相应特征被删除。

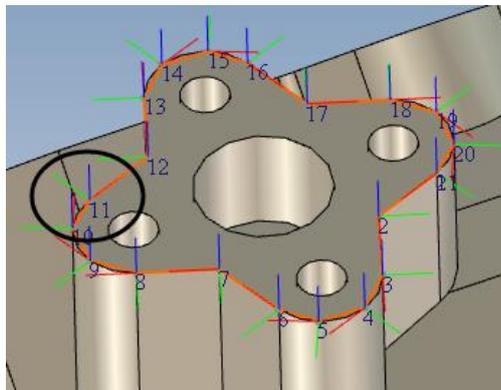
## 2.23.9 设置为起始点

**位置：**位于**调试面板**的轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

**说明：**该指令是将当前选中的点设定为点 1，即轨迹的起始点，用于修改机器人加工工件时的起始位置。

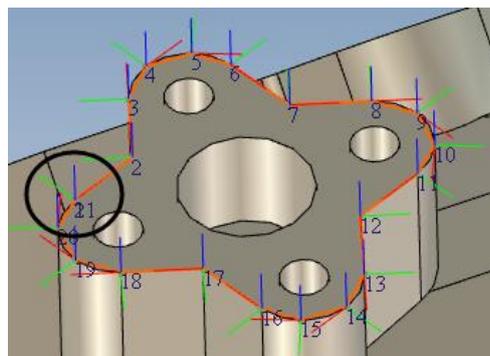
**示例**

以气缸去毛刺为例，轨迹初始状态如下：



图示：气缸初始轨迹

将轨迹点 11 设置为起始点，效果如下，可以看到，原来的点 11 的序号已经变成 1 了。



图示：“设置为起始点”效果

### 2.23.10 统一位姿

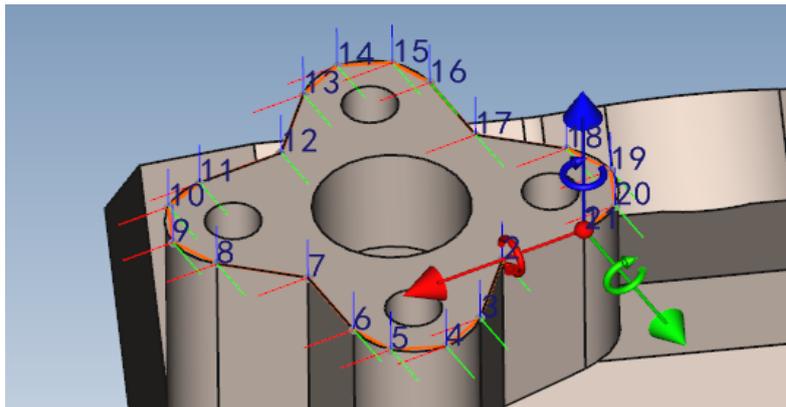
**位置：**位于**调试面板**的轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

**说明：**所有轨迹点的姿态与被编辑点的姿态相同，可以用来调整轴超限的点，优化轨迹姿态，减小了工具工作时扭动的幅度，尽量避免机器人和工具发生碰撞。

**示例**

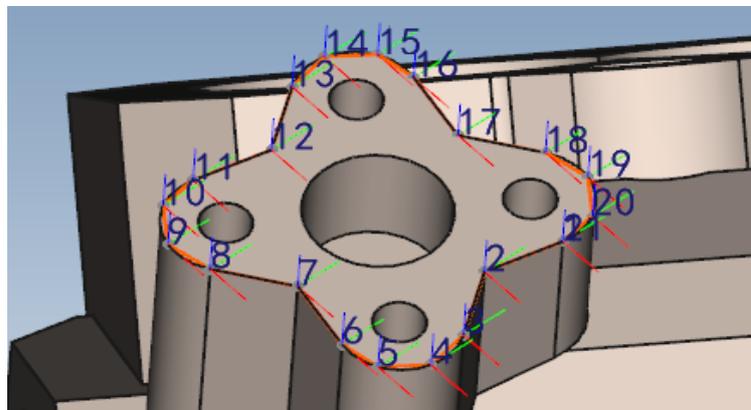
以气缸去毛刺为例。

选中点 1，右击，选择下拉菜单中的【统一位姿】后，在该点上弹出了三维球。



图示：“统一位姿”示意图

用三维球对点的位姿进行微调。调整点 1 的时候，其他点的位姿也会随之而动，调整后如下：



图示：“统一位姿”效果图

❖ 一般在平面上使用这个功能的情况比较多。如果在曲面上使用，其他轨迹点的姿态与所选择的轨迹点姿态一致，会导致加工方向（Z 轴）不垂直于加工面。

### 2.23.11 在此点前插入 POS 点

**位置：**选中轨迹点后的右键菜单内。

**说明：**在一条轨迹中插入 POS 点，便于在轴限位前使机器人重新调整姿态。

在选中的轨迹点前插入一个 POS 点后，会在工具 TCP 位置插入一个点，取代该点序号，后面的序号依次后移。

- 插入 POS 点之后，机器人加工管理面板上添加特征“插入 pos 点：序号 xx 点”，可以对该特征进行修改。修改特征时，会在 pos 点位置弹出三维球，通过三维球调整 pos 点位置和姿态。



图示：“插入 POS 点”特征修改

- ❖ 当点的指令为“Move-Circle”时，不能进行插入 pos 点操作。

### 2.23.12 单机构运动到点和多机构运动到点

**位置：**调试面板轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

**说明：**在多机器人环境下，选中某个机器人的某个轨迹点后，想查看机器人运动到该点时的轨迹求解状况，目前有两种办法：

- ◆ 单机构运动到点：该轨迹点对应的机器人、机构单独运行到该点，其他机器人、机构静止不动。
- ◆ 多机构运动到点：当该轨迹点对应的机器人、机构运行到该点的时间段内，场景中其余的所有机器人、机构会做同步运动。

**备注：**

- ✧ 图示列举了机器人 A，分别通过两种方式运动到点 B 时的不同情形
- ✧ 特别指出：单机器人场景下，分别通过这两种方式运行到点，效果是一样的

### 2.23.13 从此点开始仿真

**位置：**调试面板轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

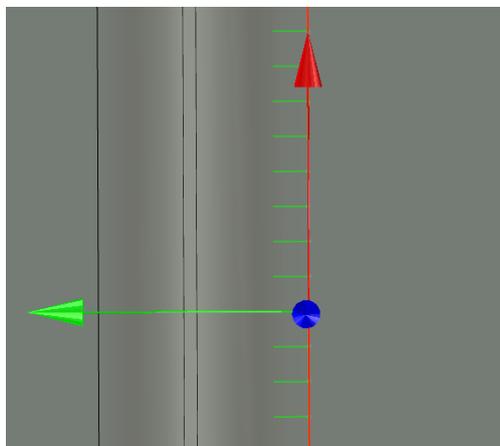
**说明：**对所选点及该点之后的所有轨迹点进行仿真。点击此指令后，即弹出仿真管理面板，

形象逼真地模拟机器人的运动路径和状态。

## 2.23.14 观察

**位置：**调试面板轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

**说明：**以所选点的 Z 轴为视线出发点，观察所选轨迹点周围的情况。



图示：“观察”示意图

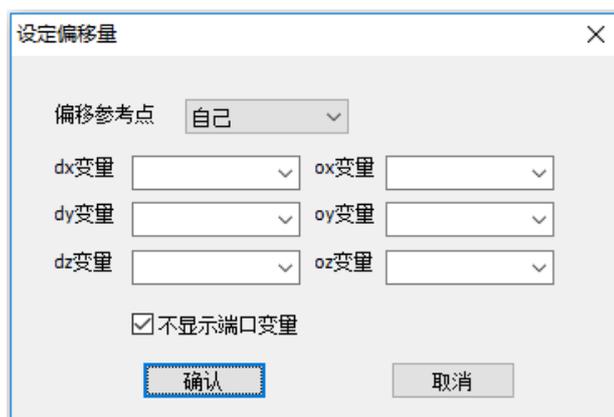
## 2.23.15 定义偏移量变量

**位置：**调试面板轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

**说明：**为轨迹点位置偏移设置变量。

一般情况下，机器人所要加工的物料位置是固定的。但是有时候，比如砂轮上的物料，它们的摆放位置不固定，机器人需要调整运动路径来适应工件位置的变化，这时候就需要变量数值。

选择【定义偏移量变量】后，输入实际情况中的变量值，机器人可根据数值灵活地随时调整姿态，以应对各种情况。



图示：“定义偏移量变量”示意图

- **偏移参考点：**轨迹点偏移的距离和角度所参考的点。
- **dx、dy、dz 变量：**点平移的变量值；  
**ox、oy、oz 变量：**点旋转的变量值。
- **不显示端口变量：**是否在后置代码中显示端口变量。

## 2.23.16 分割轨迹

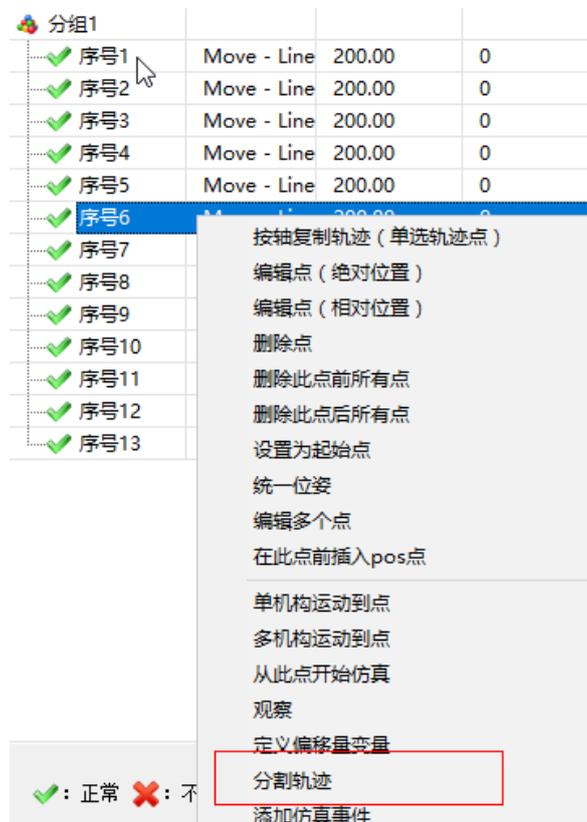
**位置：**调试面板轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

**说明：**根据需求将一条完整的轨迹分割成两段，分割处即为所选点，所选点将会归入到下一条轨迹中。分割完成后，“轨迹历史”下的所有轨迹特征都会合并为“基本生成方式生成轨迹”。

**示例**

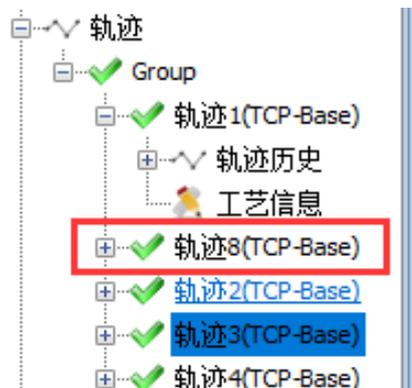
以气缸去毛刺为例。

选择轨迹 1（共有 13 个点）为所要分割的目标轨迹，在调试面板中选择轨迹 1 中的点 6，右击选择【分割轨迹】



图示：“分割轨迹”示意图

可以看到，原来的轨迹 1 被分割成了两条轨迹，多了一条轨迹 8。



图示：“分割轨迹”示意图

同时，轨迹 1 的点数变成了 5，轨迹 8 则有 8 个点。

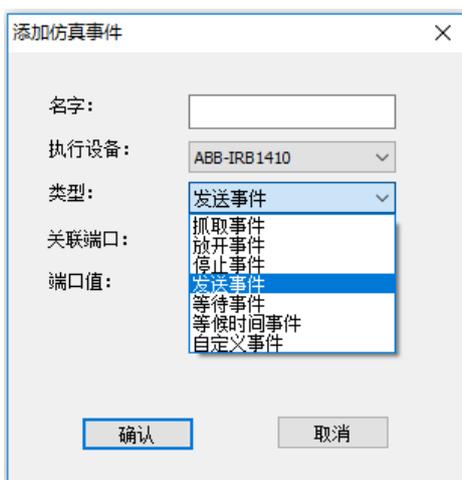
## 2.23.17 添加仿真事件

**位置：**调试面板轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

**说明：**添加仿真事件一般是对轨迹点添加新的指令，满足实际操作过程中的多种需求。

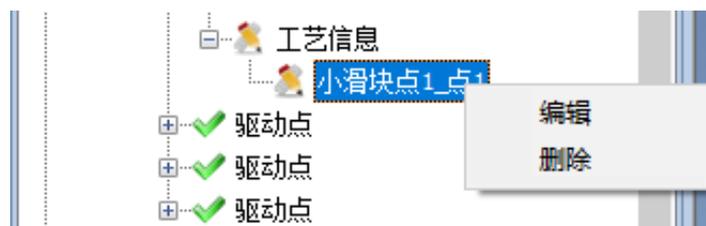
可添加的事件包括：抓取事件、放开事件、停止事件、发送事件、等待事件、等候时间事件和自定义事件。

- ❖ 等待时间事件是在被选中的轨迹点前输出。自定义事件由您来决定输出位置是点前还是点后。余下的事件都是在轨迹点后输出。
- **关联端口：**端口即设备与外界通讯交流的出入口。仿真事件需要发出命令的设备给执行设备一个信号，信号接受需要一个端口，执行设备接受到信号后开始执行事件。
- **端口值：**每个端口区别其他端口的特殊符号。



图示：“添加仿真事件”示意图

- ❖ 相同对象、相同模型，在不同轨迹中的关联端口是不同的；如果是两个不同的模型，它们的关联端口可以是相同的，端口值默认为 1。
- 添加完的仿真事件会显示在机器人加工管理面板的工艺信息中，右键可对事件进行编辑和删除。



图示：仿真事件的编辑和删除

### 【抓取事件】

一个对象抓取另一个目标对象，抓取点的选定不固定不唯一。要在对话框中确定执行设备和关联设备。

### 【放开事件】

一个对象放开另一个目标对象，放开点的选定不固定不唯一，要确定好执行设备和关联设备。

### 【发送事件】与【等待事件】

发送与等待事件即两个物体通信，需要一个物体发送，另一个物体接受。

如 A 物体为发送方，B 物体为接受方。当 A 的“发送事件”被触发时，B 从 A 处接收到信号后立即运动，不再等待。

图示：发送事件示意图

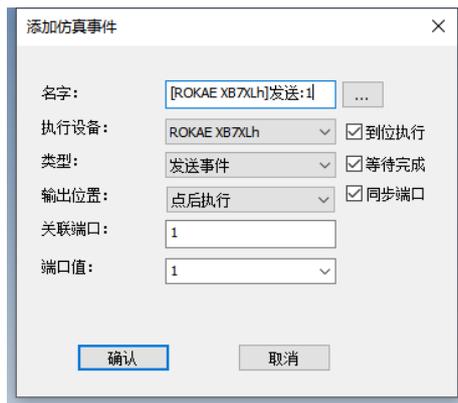
在对话框中，名字是任意取的。发送时，类型选择为发送事件。当为接受物体时，类型一定要选择为等待事件。

### 示例

以机器人上下料为例，机器人抓取小滑块到目标位置后放开。

机器人在 A 点位置放开小滑块后，小滑块应自动落下到工作台底部。此时，应在机器人放开轨迹的最后一个点上添加“发送事件”，在小滑块的驱动点上添加“等待事件”。机器人放开小滑块的瞬间，发送信号通知小滑块结束等待，滑落到工作台底部。

先设置发送事件。选中机器人的最后一个放开点，右击，添加的仿真事件如下：

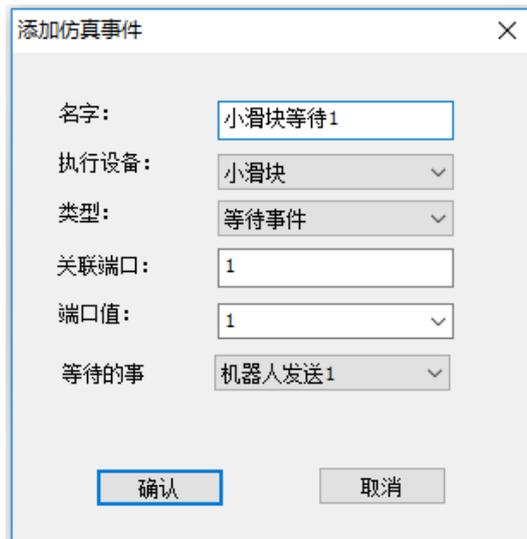


图示：“发送事件”示意图

填写好信息点击【确认】即可。

接下来设置等待事件。

选中小滑块的“驱动点 1”后，右击选择【添加仿真事件】

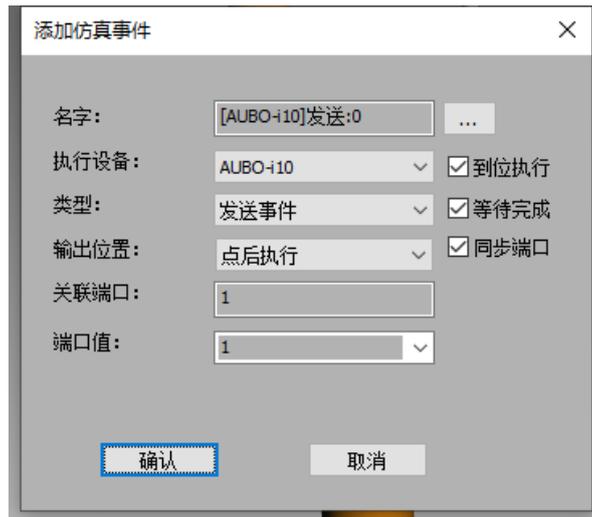


图示：“等待事件”示意图

这里选择【等待事件】，在【等待的事】中选择“机器人-等待 1”，这样发送和接收的事件就匹配上了。

### 【自定义事件】

根据需要自己输入内容（机器人可执行的语言），让机器人执行多种动作指令。添加的自定义事件可以在后置中生成代码，从而实现真机操作。

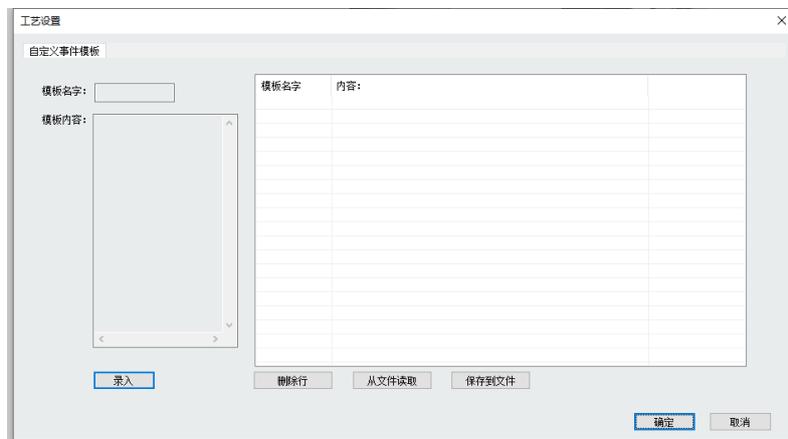


图示：“自定义事件”示意图

- ❖ 在添加自定义事件之前，需先添加自定义事件模板。



图示：“事件模板位置

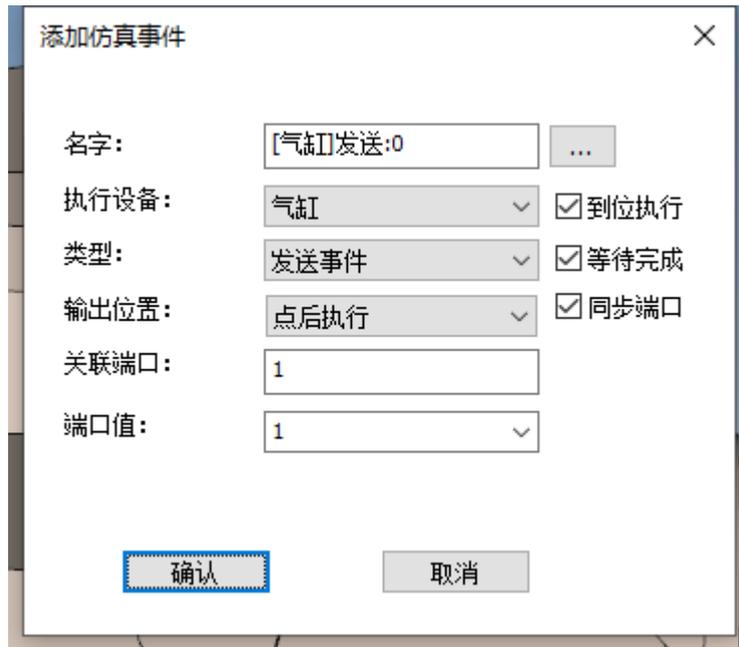


图示：“工艺设置”示意图

- **录入：**将设置的模板名字和内容录入到右侧表格中。
- **删除行：**删除表格中的一行模板。单击选中表格中的某一行，使其变为蓝色处于可操作状态后，可删除该行。
- **从文件读取：**从格式为 robdef 的文件中读取自定义模板信息。
- **保存到文件：**将当前自定义模板信息保存到格式为 robdef 的文件中，方便下一次读取使用。

在工艺设置中添加好自定义模板后，通过轨迹点右键菜单【添加仿真事件】，打开自定义事件界面，

从模板名字的下拉菜单中选择需要添加的自定义事件，则模板内容会自动加载显示。



图示：“自定义事件”示意图

- **输出位置：**决定输出所添加的自定义事件的位置，包括点前输出和点后输出，即该事件是在所选轨迹点前被执行还是点后被执行。

#### 【自定义指令】

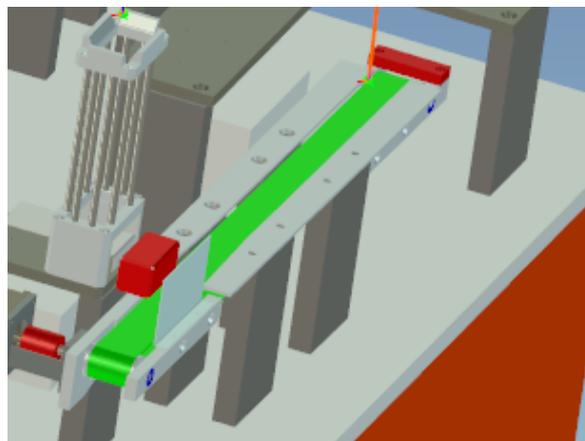
**功能位置：**选中轨迹点后的右键菜单，添加仿真事件功能面板内

**功能介绍：**有些机器人有其独有的命令，比如追踪指令，换行不要求等，原先的一个自定义事件无法满足要求，故增加了插入自定义指令。

同时，自定义后置模板内增加了相应的节点来接应和接收设计环境发送过来的指令数据。

**【等候时间事件】**让指定的对象在指定的点前停留指定的时间。

以机器人上下料为例，设置等候时间事件：



图示：小滑块场景图

小滑块需要等传送带滚动起来才能运动到传送带上，可以先让小滑块等待 3 秒钟。

选择【添加仿真事件】，弹出对话框。

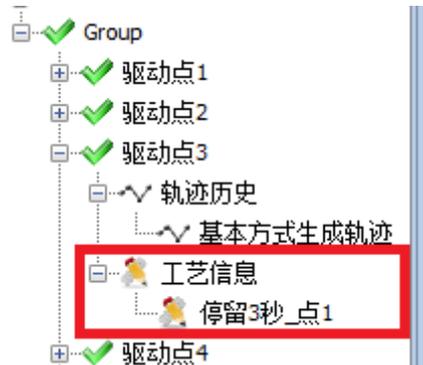
名字填为“停留 3 秒”，执行设备选择“小滑块”，类型选择【等候时间事件】，时间设为 3，点击【确认】即可。

添加仿真事件 >

名字：	<input type="text" value="停留3秒"/>
执行设备：	<input type="text" value="小滑块"/>
类型：	<input type="text" value="等候时间事件"/>
输出位置：	<input type="text" value="点后执行"/>
时间 (s)：	<input type="text" value="3"/>

图示：“等候时间事件”示意图

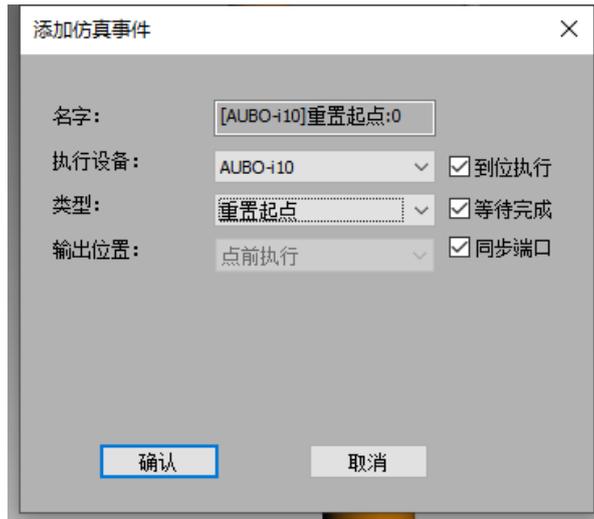
在驱动点 3 的工艺信息下面发现多了一个信息“停留 3 秒\_\_点 1”



图示：“等候时间事件”特征图

继而仿真，会发现小滑块在驱动点 3 之前（等候时间是在选取的点前）停留了 3 秒才继续运动。

**【重置起点】** 让目标对象在指定的点重新作为起点。



图示：“重置起点”示意图

### 【安装、卸载工具事件】

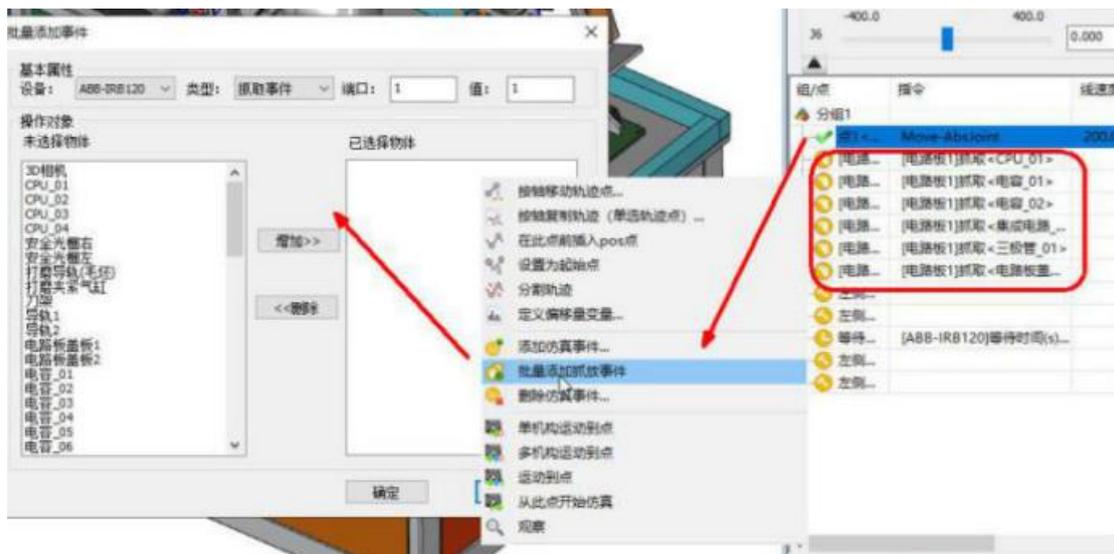
**功能位置：**选中轨迹点后的右键菜单，添加仿真事件功能面板内

**功能介绍：**比主要是针对 CHL-JC04-S-B 工作站流程进行的优化，也拓展了机器人仿真的效果，使借助机器人进行铣床换刀的仿真模拟得以实现，软件流程更加符合实际操作需要。

## 2.23.18 批量添加抓放事件

**功能位置：**选中轨迹点后的右键菜单内

**功能介绍：**在添加仿真事件的基础上，增加批量添加抓放事件，可以让指定的零件很方便的一次性抓取、或者放开多个其他零件，轨迹编制效率极大提高。

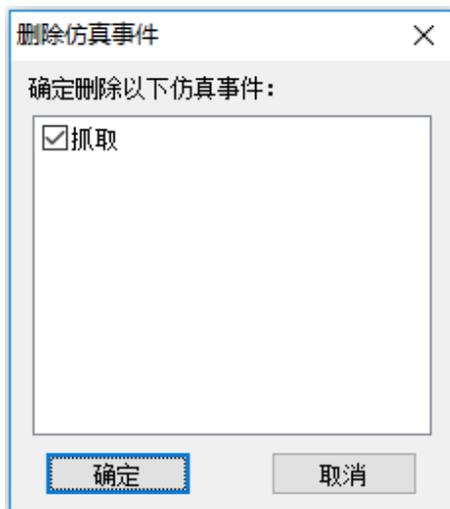


图示：批量添加抓放事件

## 2.23.19 删除仿真事件

**位置：**调试面板轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

**说明：**删除在该轨迹点添加的仿真事件，在仿真通过方框勾选可选择删除哪个事件。



图示：“删除仿真事件”示意图

## 2.23.20 轨迹点属性

**位置：**调试面板轨迹点列表中任意轨迹点的右键菜单内。

**说明：**轨迹点属性可以查看所选轨迹点的位置 XYZ，和姿态 Q1Q2Q3，清晰具体地了解到轨迹点的位姿。



图示：“轨迹点属性”示意图

程序是为实现特定目标或解决特定问题而用计算机语言编写的命令序列的集合。软件作为一款离线编程软件，机器人的运动指令并不需要用户亲自编程，只需进行轨迹设计和规划即可。而软件也支持用户的自主编程，极大地提高了自由度和灵活性。

## 2.24 三维球

三维球是一个强大而灵活的三维空间定位工具，它可以通过平移、旋转和其它复杂的三维空间变换精确定位任何一个三维物体。

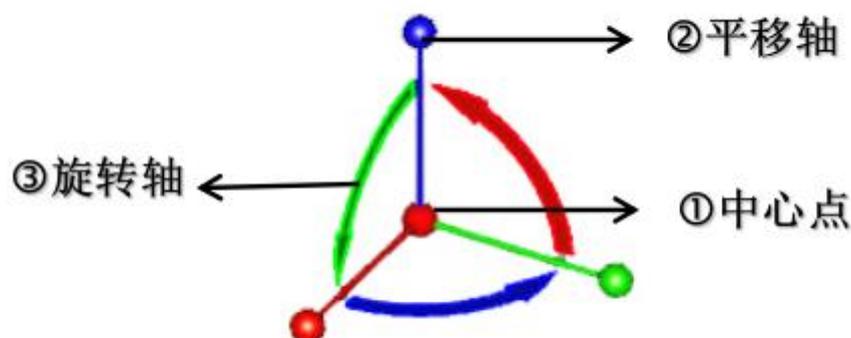
单击工具栏上的按钮打开三维球，使三维球附着在三维物体之上，从而方便地对它们进行移动和相对定位。



图示：三维球位置

### 2.24.1 三维球的结构

默认状态下三维球的形状如图示。



图示：三维球结构图

三维球有一个中心点，一个平移轴和一个旋转轴。

① 中心点：主要用来进行点到点的移动。使用的方法是右击鼠标，然后从弹出的菜单中挑选一个选项。

② 平移轴：主要有两种用法：

- 一是拖动轴，使轴线对准另一个位置进行平移；
- 二是右击鼠标，然后从弹出的菜单中选择一个项目进行定向。

③ 旋转轴：主要有两种用法：

- 一是选中轴后，可以围绕一条从视点延伸到三维球中心的虚拟轴线旋转。
- 二是右击鼠标，然后从弹出的菜单中选择一个项目进行定向。

### 2.24.2 激活三维球

使用三维球时，必须先选中三维模型，将三维球激活。默认的三维球图标是灰色的，激

活后显示为黄色。



三维球的激活状态：

### 2.24.3 三维球颜色

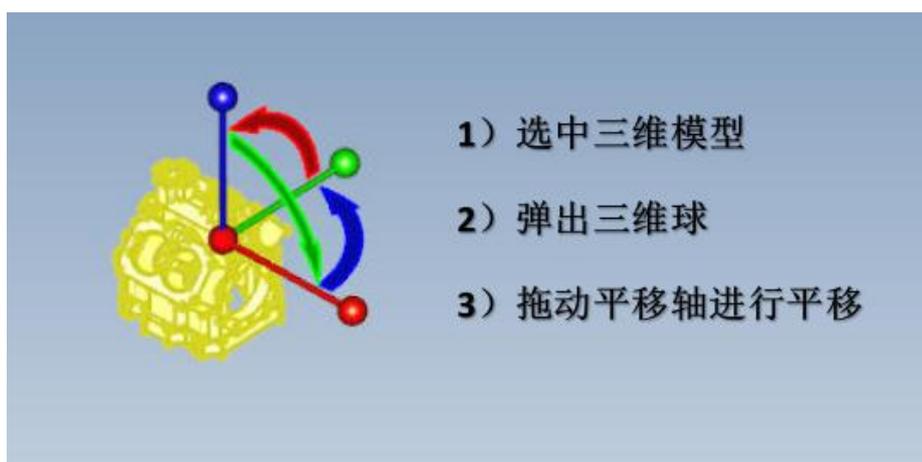
三维球有三种颜色：默认颜色（XYZ 三个轴对应的颜色分别是红绿蓝）、白色和黄色。

- ① 默认颜色：三维球与物体关联。三维球动，物体会跟着三维球一起动。
- ② 白色：三维球与物体互不关联。三维球动，物体不动。
- ③ 黄色：表示该轴已被固定（约束），三维物体只能在该轴的方向上进行定位。

三维球与附着元素的关联关系，通过键盘空格键来转换。三维球为默认颜色时按下空格键，则三维球会变白。变白后，移动三维球时附着元素不动。

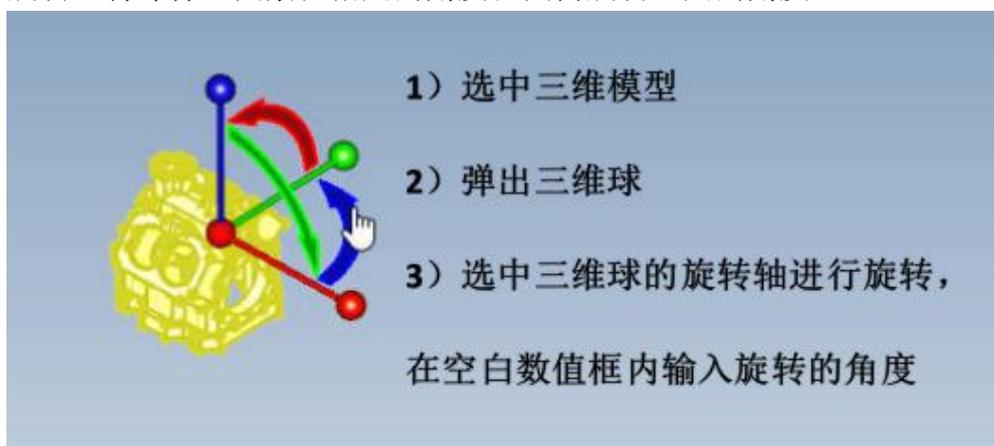
### 2.24.4 三维球的平移和旋转

- **平移**：将零件，图素在指定的轴线方向上移动一定的距离，可在空白数值框内输入平移的距离，单位为 mm。



图示：三维球的平移

- **旋转**：将零件，图素在指定的角度范围内旋转一定的角度。



图示：三维球的旋转

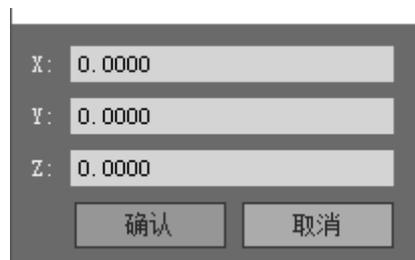
## 2.24.5 中心点的定位方法

三维球的中心点，可进行点定位。如图所示为三维球中心点的右键菜单。



图示：三维球中心点右键菜单

- (1) **编辑位置**：选择此选项可弹出位置输入框，用来输入相对父节点锚点的 X、Y、Z 三个方向的坐标值。



图示：编辑三维球位置

这里的 X Y Z 数值代表的是中心点在 XYZ 三个轴方向上的向量值。这里的位置是相对于世界坐标系来说的，填入数值可以改变物体在世界坐标系中的位置。

**示例：**

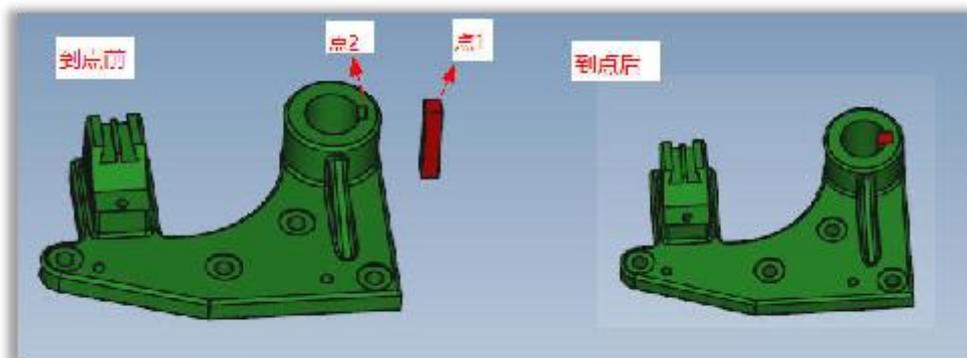
如，欲将零件定位到世界坐标系原点，将【编辑位置】中的 XYZ 数值改为 0, 0, 0 即可。



图示：三维球编辑位置

(2) **到点**：选择此选项可使三维球附着的元素移动到第二个操作对象上的选定点。

**操作步骤**：选中三维模型→ 弹出三维球→ 选择三维球中心点右键菜单内的【到点】→ 选中第二个操作对象上的某个点 → 三维模型定位到选定点的位置



图示：三维球中心点：到点

\*点1定位到点2

(3) **到中心点**：选择此选项可使三维球附着的元素移动到回转体的中心位置。

**操作步骤**：选中三维模型→ 弹出三维球→ 选择三维球中心点右键菜单内的【到中心点】→ 选中第二个操作对象上的某个圆弧 → 三维模型定位到选定点的位置



图示：三维球中心点：到中心点

\*中心点1定位到中心点2

(4) **点到点**：此选项可使三维球附着的元素移动到第二个操作对象上两点之间的中点。

注：在第二个操作对象上指定的是两个点。

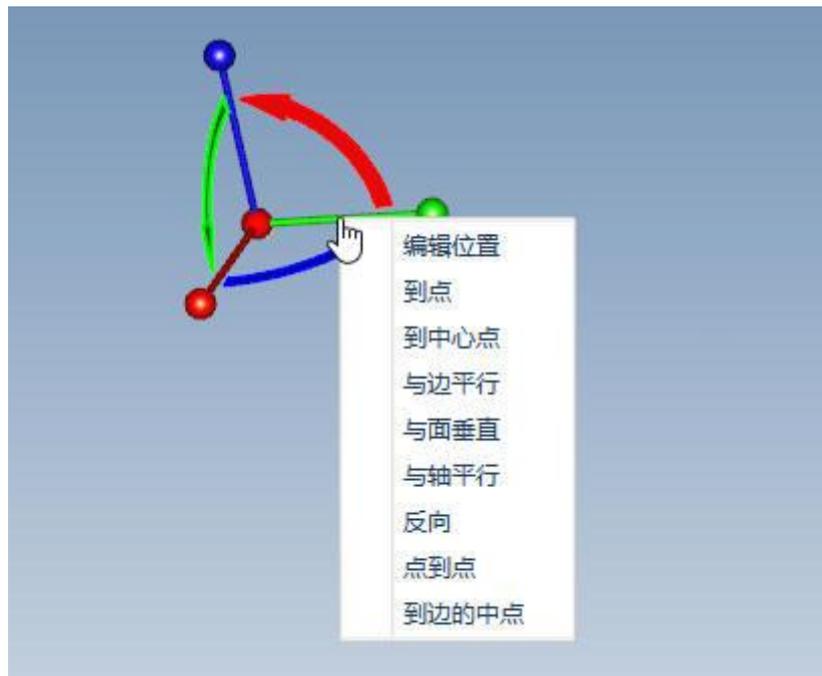
(4) **到边的中点**：选择此选项可使三维球附着的元素移动到第二个操作对象上某一条边的中点。

**操作步骤：**选中三维模型→ 弹出三维球→ 选择三维球中心点右键菜单内的【到边的中点】→ 选中第二个操作对象上的某条边 → 三维模型定位到选定边的中点

(5) Z向垂直到点：借助三维球的该功能，机器人末端捕捉到曲面上某个点后，会自动让工具的TCP的Z轴与该点法矢方向重合。

## 2.24.6 平移轴/旋转轴的操作方法

三维球的平移轴/旋转轴，可进行方向上的定位。如图所示为三维球两个轴的右键菜单。



图示：三维球轴的右键菜单

- (1) **到点：**指鼠标捕捉的轴，指向到规定点。
- (2) **到中心点：**指鼠标捕捉的轴，指向到规定圆心点。
- (3) **与边平行：**指鼠标捕捉的轴与选取的边平行。
- (4) **与面垂直：**指鼠标捕捉的轴与选取的面垂直。
- (5) **与轴平行：**指鼠标捕捉的轴与柱面轴线平行。
- (6) **反向：**指三维球带动元素在选中的轴方向上转动 180 度。
- (7) **点到点：**此选项，可以将所选的三维球的操作柄指向所选对象的两点之间的中点位置，同时三维球附着的物体姿态也会跟着调整。
- (8) **到边的中点：**此选项，可以将所选的三维球的操作柄指向所选边线的中心点位置，同时三维球附着的物体姿态也会跟着调整。

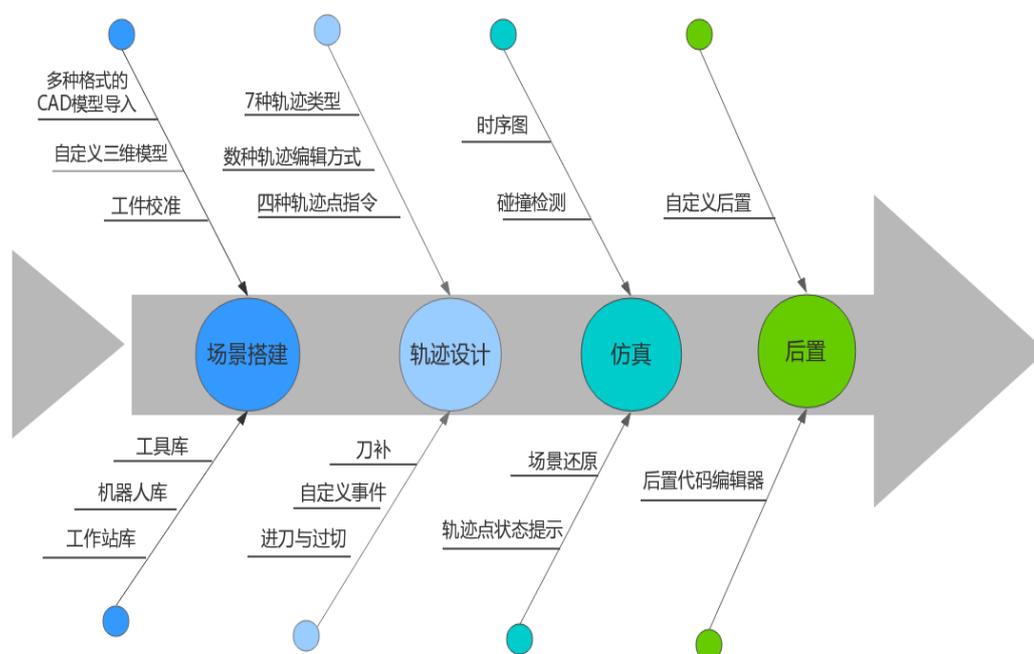
**操作步骤：**选中三维模型→ 弹出三维球→ 选择三维球中心点右键菜单内的【到边的中点】→ 选中第二个操作对象上的某条边 → 三维模型定位到选定边的中点

- (9) **轴的固定（约束）：**  
单击某个平移轴/旋转轴后，该轴变为黄色，可用来对轴线进行暂时的约束，使三

维物体只能进行沿此轴线上的线性平移，或绕此轴线进行旋转。

## 2.25 基本流程

软件 生成工艺的流程包括四个步骤：场景搭建、生成轨迹、仿真和后置。



每个步骤的详细情况，请见本章其他小节。

### 2.25.1 场景搭建

**位置：**位于【编程仿真】下的【场景搭建】中。



图示：“场景搭建”位置

**说明：**完成一个完整的加工工艺需要机器人、工具、零件和工作台。在正式规划机器人运动路径之前，需先进行场景搭建。

【机器人库】【工具库】分别用来导入机器人和工具；【设备库】用来导入零件、底座和状态机等。

- **输入：**支持多种格式的文件导入到软件环境中。目前支持的格式包括：

Alias Mesh (\*.obj)  
 BREP format (\*.brep \*.brp)  
 Binary Mesh (\*.bms)  
 IGES format (\*.iges \*.igs)  
 Inventor V2.1 (\*.iv)  
 Jupiter Tessellation V8.0-V9.5 (\*.jt)  
 Object File Format Mesh (\*.off)  
 STEP with colors (\*.step \*.stp)  
 STL Mesh (\*.stl \*.ast)  
 Stanford Triangle Mesh (\*.ply)  
 VRML V2.0 (\*.wrl \*.vrml \*.wrz \*.wrl.gz)  
 All files (\*.\*)

图示：软件支持的模型格式

- ❖ 通过【输入】而导入的模型需要进行定义后才能在使用。软件支持多轴机器人、工具、零件和底座的自定义。

## 2.25.2 编译

**位置：**位于【机器人编程】下的【基础编程】中。



图示：“编译”位置

**说明：**编译功能用来解析轨迹点状态。

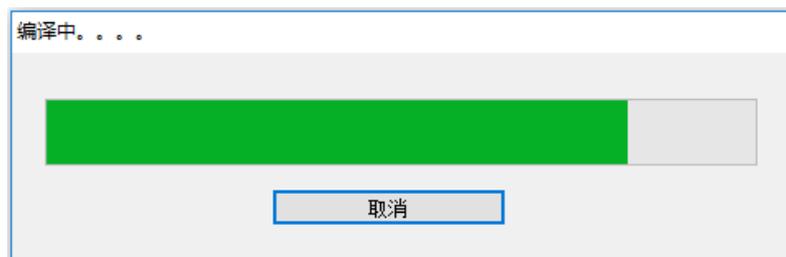
轨迹点状态包括：  
 ✓：正常    ✗：不可达    !：轴超限    ✎：奇异点    ?：未知

- 生成轨迹后，除了 Move-AbsJoint 点、抓取轨迹和放开轨迹外，其他轨迹点外均为

灰色 （未知状态）。只有【编译】【仿真】【单机构/多机构运动到点】三个指令可解析轨迹点状态，轨迹点由灰色更改为其他颜色。

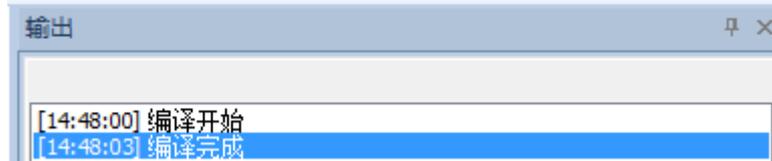
- ❖ 因为点 Move-AbsJoint 是一个确定的点，确定了机器人的关节角度值，所以生成后它的状态可直接解析出来。

- 编译时绘图区会出现进度条，提示编译的进度。



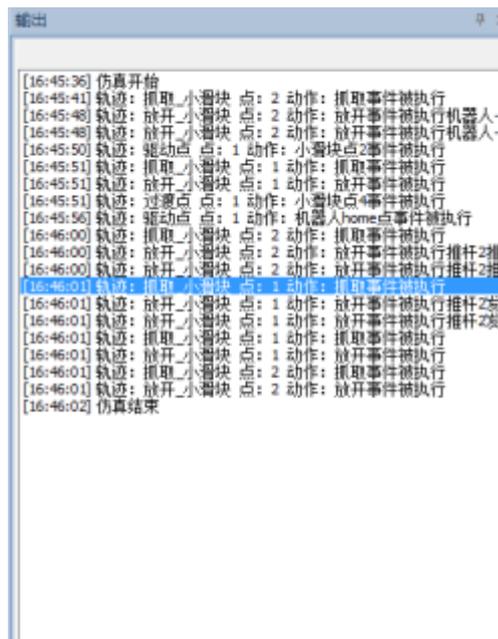
图示：编译进度条

同时输出面板中会显示出编译情况。各条轨迹正常时，面板会直接显示“编译完成”。



图示：输出面板

若存在问题，那么在输出面板中会有提示，即某个轨迹点存在不可达、轴超限等问题。双击提示，机器人姿态会更改到事件被执行时的状态。



图示：输出面板

### 2.25.3 仿真

**位置：**位于【机器人编程】下的【基础编程】中。

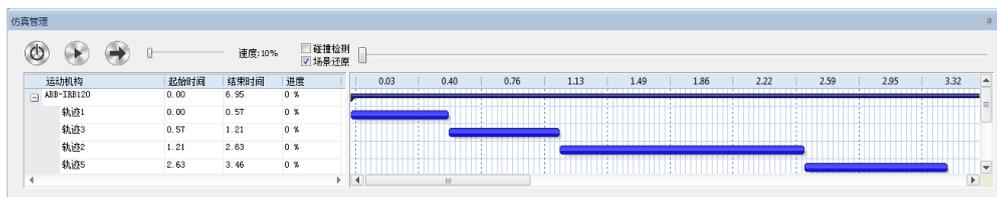
**说明：**仿真即形象逼真地模拟机器人在真实环境中的运动路径和状态，查看机器人是否以正确的姿态工作。



图示：“仿真”位置

## 2.25.4 仿真管理面板

仿真管理面板如下图：



图示：仿真管理面板

## 2.25.5 按钮作用



：关闭仿真管理面板；



：开始仿真和暂停仿真；



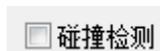
：循环仿真。

## 2.25.6 仿真速度



通过拖动滑块来控制仿真时的速度。百分比越大，速度越快。

## 2.25.7 碰撞检测



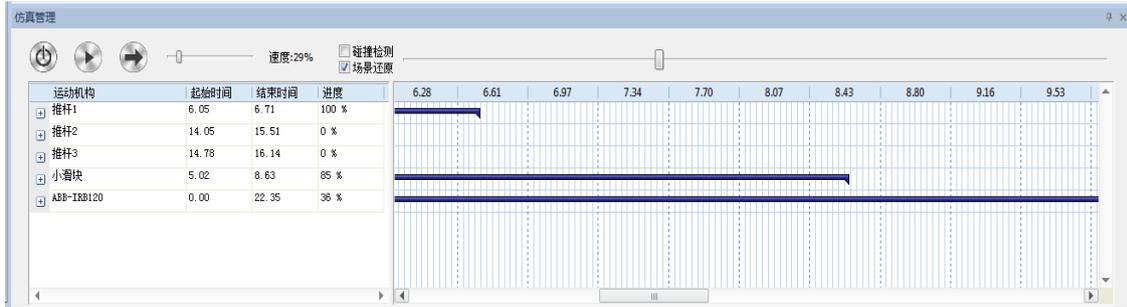
碰撞检测：对装配体各零部件、各相对运动部分进行实际仿真，并在发生碰撞时发出警示声，碰撞部分以暗红色高亮显示，如图所示，可以检查机构在运动状态系下是否存在碰撞。

## 2.25.8 场景还原

场景还原：结束仿真后，机器人会回到轨迹的起始点位置。

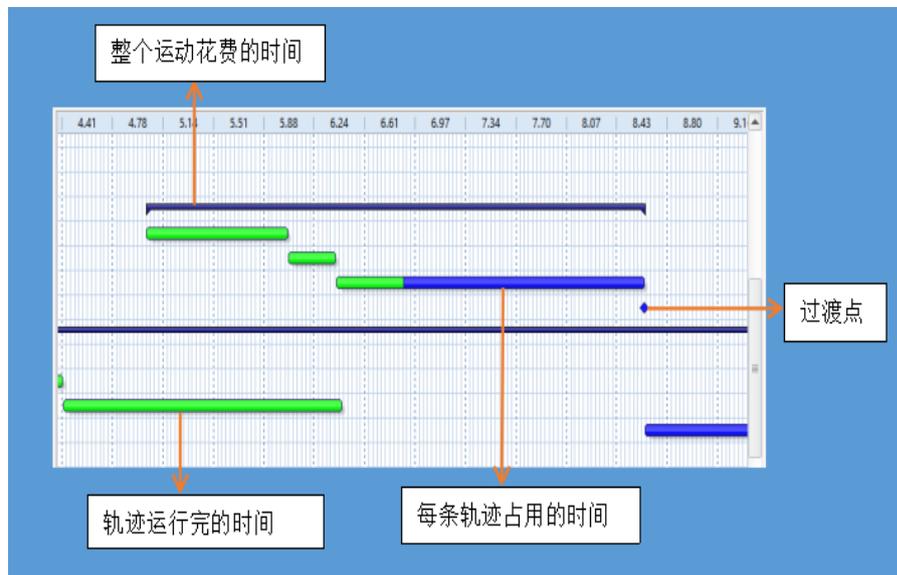
## 2.25.9 仿真轨迹情况

所有相关运动机构均通过动态的时间轴依次罗列、形象直观地显示出来，方便用户查看机器人、工件等轨迹的运行时间和进度。



图示：仿真管理面板

- 面板左侧：运动机构下包括每一条生成的轨迹；显示出每条轨迹运行的起始时间、结束时间和进度。进度表示完成的百分比。
- 面板右侧：



图示：时间轴

轨迹中存在“发送事件”和“接收事件”时，面板上会显示出黑色箭头，箭头的指向是接收物体，如下图。轨迹中发送对象和接受对象过多时，可通过仿真管理面板查看匹配情况。

图示：发送等待关系

若在同一时间内出现多个时间轴，说明在这段时间内，有多条轨迹同时运行。

## 2.26 后置

### 2.26.1 基本后置介绍及流程

**位置：**位于【变成仿真】下的【仿真调试】中。



图示：“后置”位置

说明：“后置”功能将在软件中生成的轨迹、坐标系等一系列信息生成机器人可执行的代码语言，可以拷贝到示教器控制真机运行。

#### ■ 后置处理界面介绍

单击基础编程中的【后置】，弹出“后置处理”的对话框：



图示：后置处理界面

#### ● 缩进设置

缩进设置主要是编辑后置文件的格式，这个一般选择默认的【空格】。

#### ● 机器人末端后置和工具末端后置

这两个是选择输出的代码以机器人末端坐标（法兰坐标系）为准还是以工具末端坐标为准。

#### ● 轨迹点命名

轨迹点命名由前缀和编号组成，这个根据个人喜好进行设置，一般也会选择在这个界面选择默认的选项。

点的编号：后置的起始编号可根据需求设定，可以是 0/1，也可以是其他。

#### ● 程序名称

程序的名称可自行输入和修改。一般来说，该名称为示教器所识别的模块名称。

#### ● 使用注释

注释是指解释代码语言的文字。

是否使用注释根据需要设定。

### 使用注释

```
PROC RobotArtMain()
Confl\on;
ConfJ\on;
!!轨迹1
!!pt1
MoveL [[992.44389,292.99981,
!!pt2
MoveL [[992.44389,282.99981,
!!pt3
MoveL [[990.33342,282.99981,
!!pt4
MoveL [[984.85041,282.99981,
```

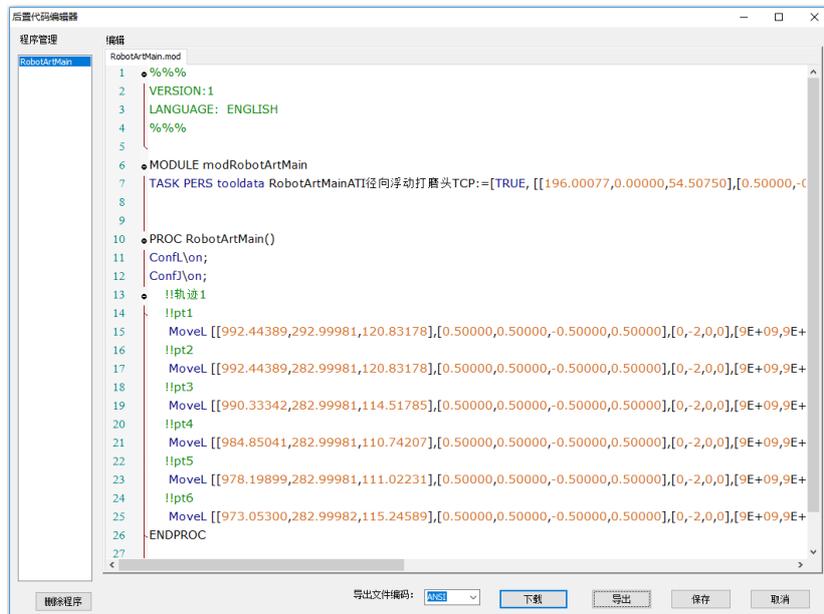
### 不使用注释

```
PROC RobotArtMain()
Confl\on;
ConfJ\on;
MoveL [[992.44389,292.99981,
MoveL [[992.44389,282.99981,
MoveL [[990.33342,282.99981,
MoveL [[984.85041,282.99981,
MoveL [[978.19899,282.99981,
MoveL [[973.05300,282.99982,
MoveL [[971.48110,282.99982,
MoveL [[974.11518,282.99982,
MoveL [[979.89636,282.99982,
```

图示：“使用注释”对比图

## ■ 后置代码编辑器

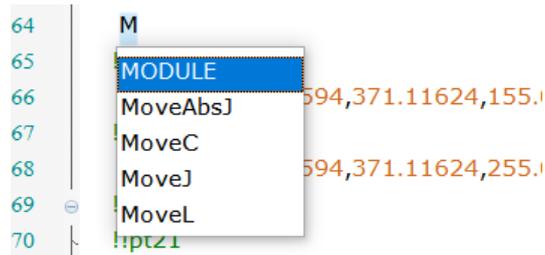
点击【生成文件】后，弹出后置代码编辑器，生成的代码如下：



图示：后置代码编辑器

不同的机器人后置会生成不同的文件格式.KUKA 机器人会后置出两个文件：DAT/SRC.其他机器人会后置出一个后缀为 mod 的文件。

- 后置代码的显示方式：点的坐标、字符和注释用不同颜色区别开来，代码查看起来清晰明了。
- 有行号显示，方便定位某一行的代码。
- 折叠功能，同一组别或者段落的代码可以实现手动折叠展开和收起。
- 提示功能：输入轨迹点指令的首字母，会提示出 MoveL, MoveC 等字样。完整的轨迹点指令+[ 会提示出相关指令的参数格式。（目前支持的是 ABB 机器人）



图示：提示功能 1

```

MoveL[
!!pt19 MoveL (double[X,Y,Z], double[Q1,Q2,Q3,Q4], int[C1,C2,C3,C4], int[E1,E2,E3,E4,E5,E6]), v200, z0, TCP)
功能说明： MoveL用于将工具中心点沿直线移动至给定目标点
参数列表：
!!pt20 . X, Y, Z表示目标点位置
MoveL . Q1,Q2,Q3,Q4表示目标点姿态
!!过渡点 . C1,C2,C3,C4为轴配置数据
!!pt21 . E1,E2,E3,E4,E5,E6为外部轴数据
MoveL . v为速度数据，z为区域数据
TCP为当前工具的TCP
  
```

图示：提示功能 2

- 高亮显示：选中某个字符后，所有相同的字符以蓝底高亮显示。

],[0.00000,0.93042,0.36650,-0.00000],|

],[0.00000,0.93042,0.36650,-0.00000],|

],[0.00000,0.93042,0.36650,-0.00000],|

- 导出文件编码：包括 ANSI 和 UTF-8 两种编码。ANSI 编码不支持代码程序中包含中文字符，UTF-8 则允许包含中文字符，从而根据特定品牌的机器的后置需求来选择这两种编码。

ANSI 详细讲解：[ANSI](#)

UTF-8 详细讲解：[UTF-8](#)

- 导出：将后置出的文件直接拷贝到真实示教器，从而完成真机的运行。  
保存：后置代码会保存在编辑器中。

❖ 后置格式的具体显示样式，如字体颜色、背景色、折叠方式等都用 XML 控制。因此，用户可依据实际需求，自定义后置的具体显示样式。

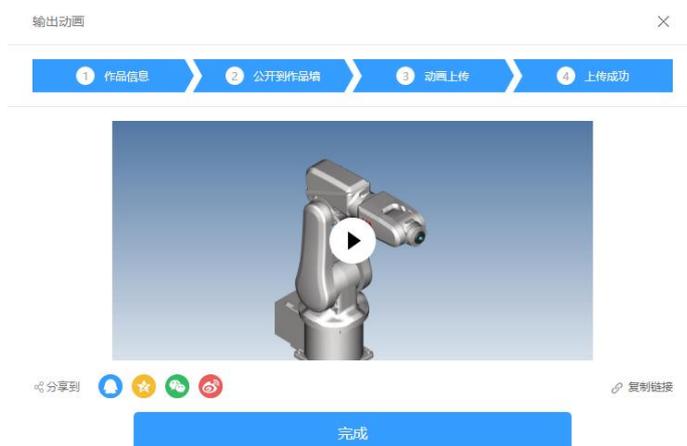
## 2.26.2 输出动画

**位置：**位于【编程仿真】下的【仿真调试】中。

**说明：**机器人的运动轨迹可以输出为动画；查看动画的方式有两种：微信扫码查看和复制链接用浏览器打开查看。可实现将轨迹仿真的动画过程上传到云端；同时自动生成二维码链接，后续可用手机扫码后缩放、平移查看该动画。



图示：“输出动画”位置



图示：输出动画完成界面

注：可以分享上图所示的软件中，也可以复制链接，分享给别人。

输出动画后，可在 3D 虚拟实验室中查看动画，通过右上角的按钮开始动画/动画暂停/动画继续。可通过鼠标左键切换视角，滚轮进行缩放。



图示：作品信息

下一步需要选择动画作品是公开到作品墙还是仅个人可见。  
公开到作品墙：动画作品将会公开到作品墙，任何人都可见；

仅个人可见：动画作品只能在个人的主页看到。



## ■ 动画上传

等待动画上传完成。



## ■ 上传成功

## 3. 第三部分 自定义

### 3.1 定义机构

定义机构是定义机器人功能的延伸、拓展，理论上可以定义出 1-N 轴的任意运动机构。  
下面就以定义一个 10 轴的机器人为例，来讲解一下定义机构的基本使用流程。

定义流程：



#### 3.1.1 导入模型

定义机构之前需先导入需要定义的模型。

**位置：**通过【输入】来导入模型，该按钮位于【自定义】下的【场景】中。

单击菜单栏中的【输入】，按照预导入文件格式，设置文件类型后，即可将模型导入进来软件。



图示：“输入”位置

❖ 软件支持目前市面上绝大多数主流的模型的导入，如下图所示：

- Alias Mesh (\*.obj)
- BREP format (\*.brep \*.brp)
- Binary Mesh (\*.bms)
- IGES format (\*.iges \*.igs)
- Inventor V2.1 (\*.iv)
- Jupiter Tessellation V8.0-V9.5 (\*.jt)
- Object File Format Mesh (\*.off)
- STEP with colors (\*.step \*.stp)
- STL Mesh (\*.stl \*.ast)
- Stanford Triangle Mesh (\*.ply)
- VRML V2.0 (\*.wrl \*.vrml \*.wrz \*.wrl.gz)
- All files (\*.\*)

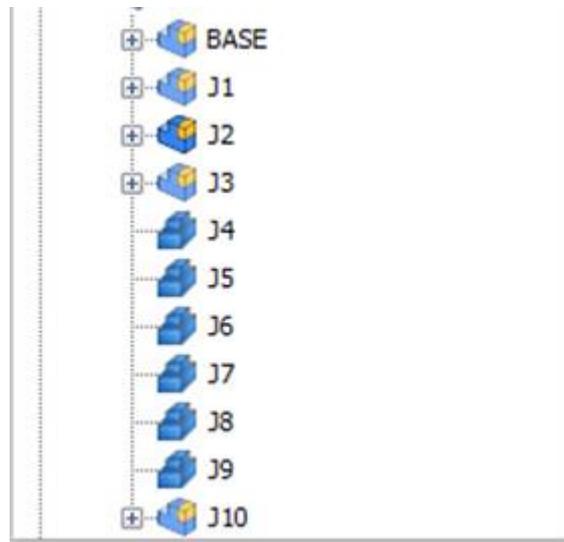
图示：软件支持的模型导入格式

#### 3.1.2 模型预处理

**位置：**设计环境面板。

**说明：**导入的模型，其零部件层次关系不一，定义机构前需要对这些零部件进行一下预处理使之符合定义所要求的层次结构。

运动机构零部件的树结构一般要求：根目录为一个总装，名字一般为机器人的官方名称，子节点下依次为 BASE、J1、J2 ... Jn 排列。请看下图所示：

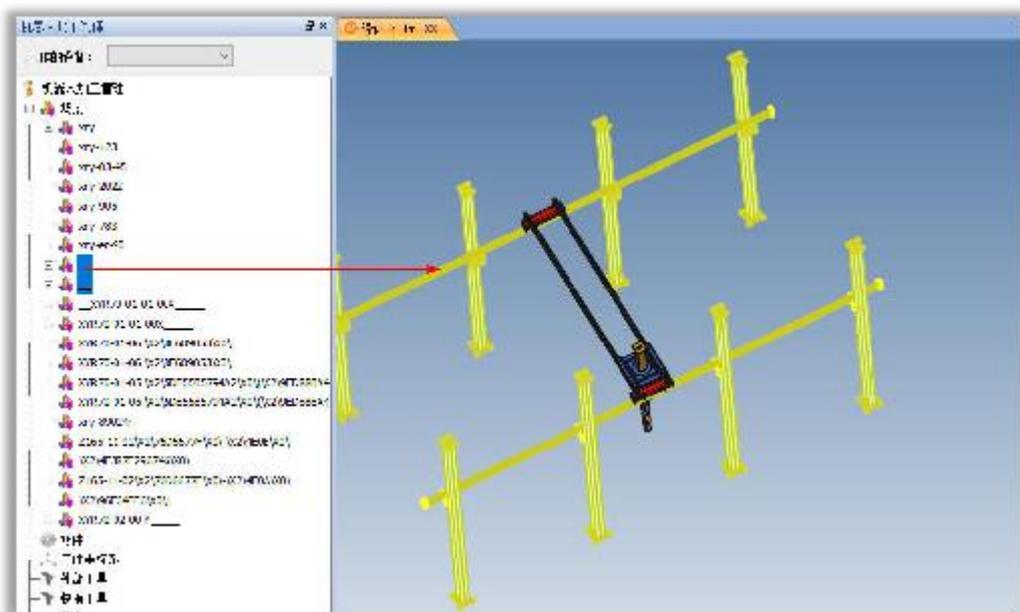


图示：模型预处理结果

### 示例

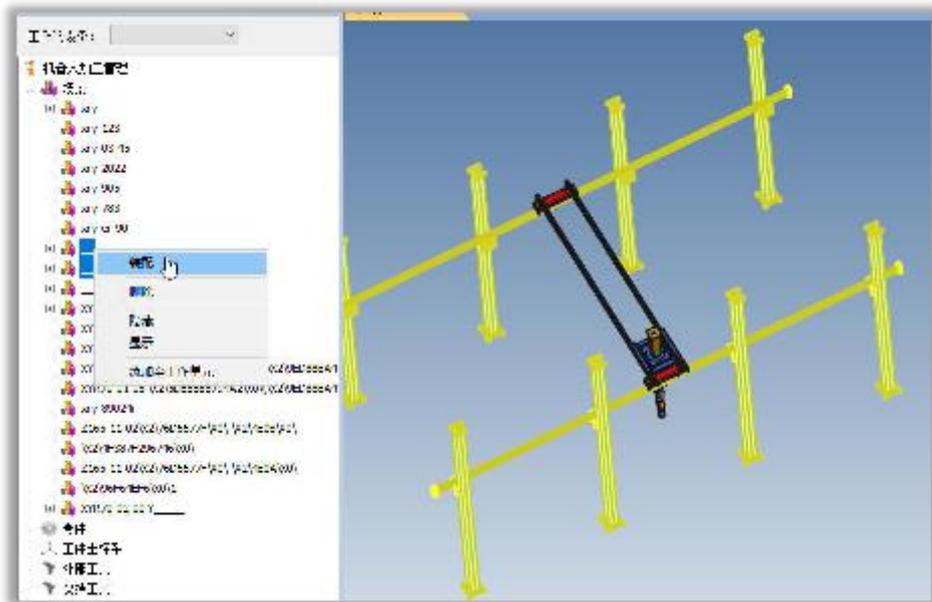
下面以定义 BASE 为例，讲解一下模型处理的办法。

由图可知，选中的配件都属于机构的底座。



图示：处理底座配件

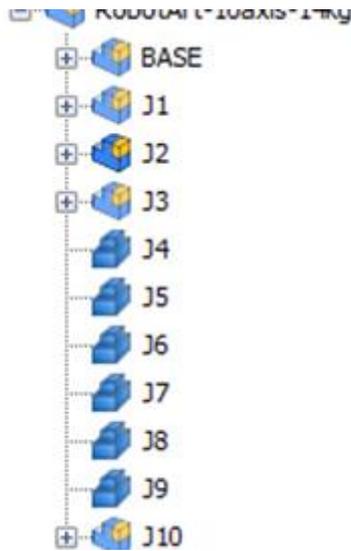
所以，多选底座配件，选择右键菜单中的【装配】，装配后，将其重命名为  BASE 。



图示：装配底座所有配件

同理装配其他零件。

最后，设计环境界面如下：

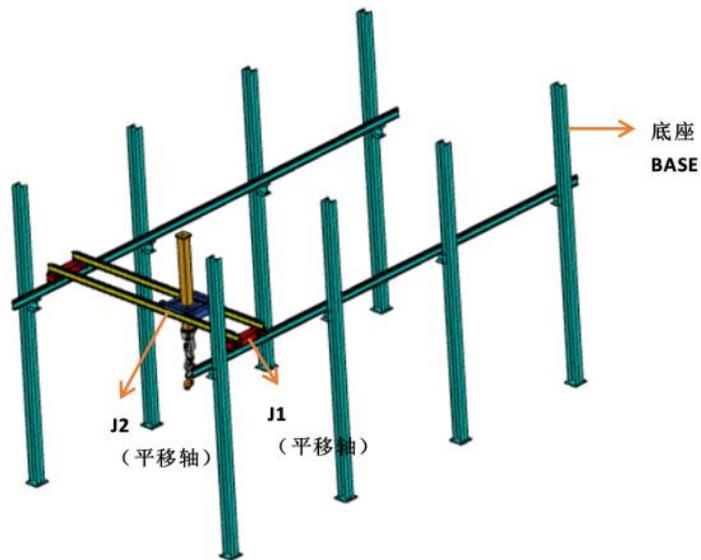


图示：模型预处理结果

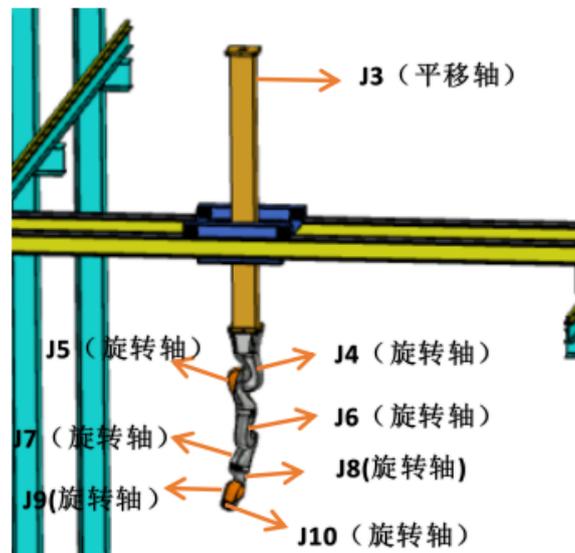
另外，环境中不允许有其他任何额外的零件/装配，否则会弹出警告。

至此，模型预处理完毕。

该十轴机器人的各轴情况如下：



图示：十轴运动机构的各轴



图示：十轴运动机构的各轴

### 3.1.3 定义

**位置：**位于【自定义】下的【机构】中。



图示：“定义机构”位置

- 定义机构需要经过“了解基础知识”→“坐标检查”→“关节检查”→“参数输入”四个步骤。
- 定义机构的要点就在于 N 轴之间的坐标系转换。
- 该功能以世界坐标系为参考点进行 DH 参数建模，确定运动机构各个轴的姿态、软件零点、机械零点、运动范围和运动方向等信息。

单击菜单栏中【自定义】下的【定义机构】，按照对话框中的指示一步步定义机构。

### 3.1.4 了解基础知识

定义机构涉及多方面知识，为了达到定义机构的目标，取得良好的定义效果，需要您先了解基本的知识，实现流畅操作。

在【帮助信息】界面，点击蓝色下划线字体可跳转到更详细的帮助信息。

了解并熟知列表中的知识后，勾选“我已熟知上述内容”，点击“下一步”。



图示：帮助信息

### 3.1.5 坐标检查

当前运动机构在 DH 参数建模时以世界坐标系为参考零点。

这里默认的坐标系选择为“世界坐标系”。



图示：坐标检查

### 3.1.6 关节检查

首先确定机构类型。这里的机构类型包括：通用机构、变位机和导轨。

理论上来说，1~N 轴的机器人都属于通用机构。

然后再确定运动机构的关节数。

关节数量=运动方式为平移的关节+运动方式为旋转的关节。确保设计环境中的装配结构为“BAE,J1,J3,J3.....J10.”



图示：关节检查

一般情况下，软件会自动识别出机构的关节数。若之前未对模型进行预处理，则会弹出警告提示。只有在模型预处理成功后才能进行下一步的操作。

### 3.1.7 参数输入

参数输入：设定模型的 DH 参数、软件零点、机械零点、各个轴的运动范围及运动方向等。坐标转换的最终目的是确定机器人各连杆之间的相互位置关系。

## 定义机构

1 帮助信息 2 坐标检查 3 关节检查 4 参数输入

机构类型: 通用机构 机构名称: IRB120  
 机构品牌: ABB 机构型号: IRB120

姿态  
 姿态方向格式: 四元数  
 姿态显示名称: Q1Q2Q3Q4

求逆解默认选项  
 向前  向后  
 肘部向上  肘部向下  
 腕部不翻转  腕部翻转

逆解类型: 通用

后置类型: ABB

导入参数 保存参数 自定义参数

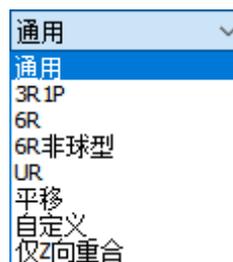
关节号	theta(°)	d(mm)	a(mm)	alpha(°)	轴类型
BASE	0	0	0	0	
J1	0	0	0	0	旋转
J2	0	0	0	0	旋转
J3	0	0	0	0	旋转
J4	0	0	0	0	旋转
J5	0	0	0	0	旋转
J6	0	0	0	0	旋转
法兰	0	0	0	0	

机器人基坐标系(BASE)相对全局坐标系偏移[平移[X Y Z],旋转[X Y Z]]:  
 X: 0.0 Y: 0.0 Z: 0.0 Q1: 0.0 Q2: 0.0 Q3: 0.0 Q4: 0.0

上一步 更新 保存 取消

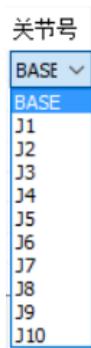
图示：参数输入

- **机构名称**：目标机构的名称。
- ❖ 自定义的后置文件可通过软件的【自定义后置】功能来生成。
- **逆解类型**：R: Revolute，代表旋转关节；P: Prismatic，代表平移关节。  
 3R1P 表示常见的四轴机器人（旋转-旋转-平移-旋转）。  
 6R 表示通用 6 轴机器人，该类型机器人的最后三个旋转轴交于一点。  
 6R 非球型：最后三轴不相交于一点的 6 轴旋转机器人。  
 无：表示该机器人只能插入 MoveabsJ，不能使用 MoveL 等指令



图示：逆解类型

- **关节号：**关节号依次从基座，第一轴到最后一轴按顺序排列显示。如果顺序不对，应点击前面的序号，在弹出的下拉框中选择正确的对应关节。



图示：关节号

- **更新：**根据录入的参数更新绘图区运动机构模型的状态。点击该按钮即可查看参数修改后运动机构的姿态。

进行 DH 参数建模，需要对各轴的坐标系进行转换。

- **机器人各轴坐标系的转换**

关节号	Z 轴 旋转角度 theta(°)	Z 轴 平移距离 d(mm)	X 轴 平移距离 a(mm)	X 轴 旋转角度 alpha(°)	轴类型
BASE					
J1	0	0	0	0	旋转
J2	0	0	0	0	旋转
J3	0	0	0	0	旋转
J4	0	0	0	0	旋转
J5	0	0	0	0	旋转
J6	0	0	0	0	旋转
J7	0	0	0	0	旋转

3 轴 → 4 轴  
4 轴 → 5 轴

BASE 坐标系转换为 1 轴坐标系的参数  
1 轴坐标系 → 2 轴坐标系  
2 轴 → 3 轴

$\theta$ (°) 表示坐标系 Z 轴旋转的角度， $d$ (mm)代表 Z 轴平移的距离；

$a$ (mm) 表示坐标系 X 轴平移的距离， $\alpha$ (°)代表 X 轴旋转的角度。

- ❖ 这四个参数存在先后顺序，即坐标系先按照设定角度旋转 Z 轴，按照设定距离平移 Z 轴，然后再进行 X 轴的平移与旋转。

**注：**绕 Z 轴或者 X 轴旋转均遵从右手定则，即大拇指沿着 Z 轴或者 X 轴方向，四指弯曲方向为正方向（X 轴始终垂直于 Y Z 两轴组成的平面）。

**轴类型：**选择该轴为平移轴还是旋转轴

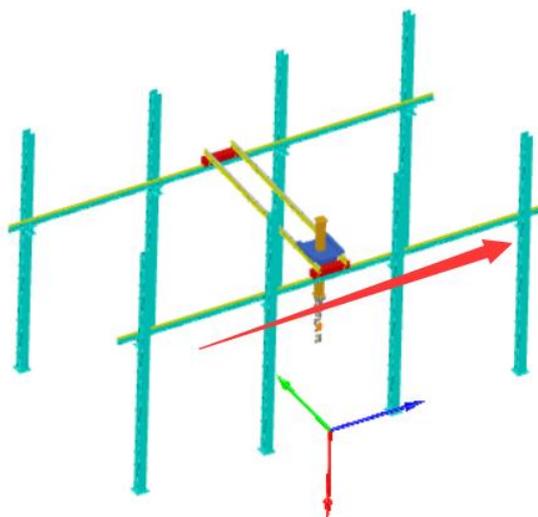


接下来需要定义每个轴的坐标系.

**建模过程:** 从世界坐标系开始, 依次转换每个轴的坐标系。

### 1) BASE 坐标系转换为 1 轴坐标系

首先点击界面中的【更新】按钮, 弹出世界坐标系。运动机构的底座是不动的, 一般情况下默认为与世界坐标系重合。



图示: 世界坐标系

Z 轴方向决定的是每个轴的运动方向, 上图所示的红色箭头为 1 轴的运动方向, 可以发现, 1 轴的运动方向与 BASE 坐标系的 Z 轴方向一致, 此时 BASE 一栏的 DH 参数无需填写。

图示: 10 个轴的坐标系及其参数

其中, J10 一栏的参数为: 10 轴坐标系转换到法兰坐标系的参数, 应先确定法兰盘坐标系在真实环境中三个轴的姿态, 再确定四个参数。

J10	0	126	0	0	旋转
-----	---	-----	---	---	----

- 接下来需要确定坐标系偏移。通过该功能, 基本可以应付国内市面上众多新兴机器人品牌的定义机器人的需求。定义机构功能, 本身简单易学。众多新兴品牌, 可以很轻松的借助软件来自定义自己的机器人本体。

机器人基坐标系(BASE)相对全局坐标系偏移[平移[X Y Z],旋转[X Y Z]]:						
X	Y	Z	Q1	Q2	Q3	Q4
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
机器人末端相对法兰末端坐标系偏移[平移[X Y Z],旋转[X Y Z]]:						
X	Y	Z	A	B	C	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

图示：示坐标系的偏移

示教器坐标系状态下，真实环境中的运动机构会有一个姿态。通过“平移 XYZ”和旋转“XYZ”将当前软件中模型的姿态调整到与真实环境中的姿态一致。这是对运动机构位姿的整体调整。

- 确定软件零点、机械零点、限位以及运动方向等

确定好运动机构的机械零点后，观察当前机构模型与机械零点状态是否有差异。若有差异，需要对各个轴的位置进行调整。

关节号	软件零点	机械零点	最大限位	最小限位	运动方向
BASE					
J1	0	0	180	-180	正向
J2	0	0	180	-180	正向
J3	0	0	180	-180	正向
J4	0	0	180	-180	正向
J5	0	0	180	-180	正向
J6	0	0	180	-180	正向
J7	0	0	180	-180	正向

平移轴是平移的距离，单位为 mm；  
旋转轴是旋转的角度，单位为°。

图示：软件零点与机械零点

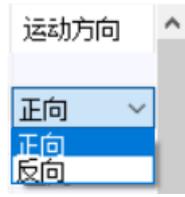
所以需要让 1 轴平移一定距离。经过测量，1 轴需要位移 4000mm，因为移动方向与坐标系 X 轴正方向相反，所以参数值为-4000。

关节号	软件零点	机械零点	最大限位	最小限位	运动方向
BASE					
J1	0	-4000	0	0	正向

图示：1 轴机械零点参数

**最大限位与最小限位：**各个轴运动（平移/旋转）的最大与最小距离/角度，即各轴的运动范围。

**运动方向：**设定各个轴运动方向的正反。可通过【更新】，实时查看运动机构的运动方向是否正确。



图示：轴的运动方向

该十轴运动机构最后的 DH 参数输入如下图：

定义机构

1 帮助信息    2 坐标检查    3 关节检查    4 参数输入

机构类型: 通用机构    机构名称: IRB120  
 机构品牌: ABB    机构型号: IRB120

姿态  
 姿态方向格式: 四元数  
 姿态显示名称: Q1Q2Q3Q4

求逆解默认选项  
 向前     向后  
 肘部向上     肘部向下  
 腕部不翻转     腕部翻转

逆解类型: 通用

后置类型: ABB

导入参数    保存参数    自定义参数

关节号	theta(°)	d(mm)	a(mm)	alpha(°)	轴类型
BASE	0	0	0	0	
J1	0	0	0	0	旋转
J2	0	0	0	0	旋转
J3	0	0	0	0	旋转
J4	0	0	0	0	旋转
J5	0	0	0	0	旋转
J6	0	0	0	0	旋转
法兰	0	0	0	0	

机器人基坐标系(BASE)相对全局坐标系偏移[平移[X Y Z], 旋转[X Y Z]]:

X: 0.0    Y: 0.0    Z: 0.0    Q1: 0.0    Q2: 0.0    Q3: 0.0    Q4: 0.0

上一步    更新    保存    取消

图示：十轴运动机构的 DH 参数输入

**保存：** 将定义完的运动机构保存到指定位置，格式为 robrd。

## 3.2 定义零件

软件支持自定义零件，零件的模型有零件、工具、机器人底座等多种选择。即，可将工具、零件和底座等都看作是零件进行自定义，基本可以满足市场上存在多种零件的需求。定义好的零件格式为 robp。

定义零件的操作流程：



### 3.2.1 模型导入

零件模型作为定义的对象，需要先导入到软件中。

**位置：**位于【自定义】下的【零件】中。



图示：“输入”位置

**说明：**“输入”支持多种格式的零件模型文件导入到软件环境中。目前支持的格式包括：

- Alias Mesh (\*.obj)
- BREP format (\*.brep \*.brp)
- Binary Mesh (\*.bms)
- IGES format (\*.iges \*.igs)
- Inventor V2.1 (\*.iv)
- Jupiter Tessellation V8.0-V9.5 (\*.jt)
- Object File Format Mesh (\*.off)
- STEP with colors (\*.step \*.stp)
- STL Mesh (\*.stl \*.ast)
- Stanford Triangle Mesh (\*.ply)
- VRML V2.0 (\*.vrl \*.vrml \*.wrz \*.wrl.gz)
- All files (\*.\*)

图示：软件支持的文件格式

\*列表中涵盖了众多市场上流行的 3D 绘图软件所制作的模型格式，如 CATIA，Solidworks 等。

导入的零件模型会出现在软件的绘图区中。

### 3.2.2 零件的定义

自定义零件分为两种情况：

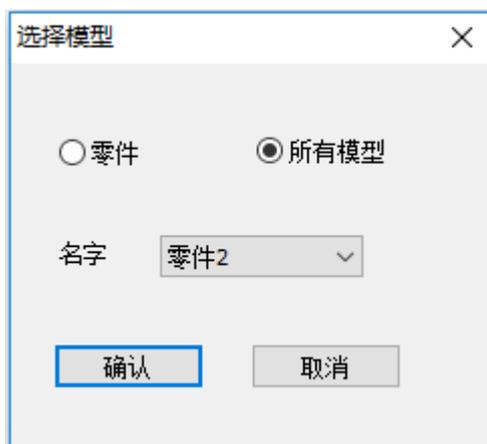
- 一，场景中只有零件时；
- 二，场景中存在机器人和工具的情况下自定义零件。

### 3.2.3 场景中只有零件

场景中存在单个模型，则直接进行定义；

场景中存在两个及以上的模型，则需要先在“选择模型”的对话框中选中“所有模型”，然后选择需要定义的模型名称。

❖ 该原则同样适用于定义零件的第二种情况。



图示：选择定义的模型

在“定义零件”对话框中，可选择性地填入作者信息，之后点击【保存】将定义好的零件保存到指定位置。

- **确认：**确认当前对零件的定义操作。确认后可直接在该场景中加工零件。
- **取消：**取消对零件的定义操作。

### 3.2.4 场景中存在机器人和工具

场景中存在机器人、工具的情况下，对零件的抓取有两种方法：

利用三维球调整机器人和工具的位姿，使其处于抓取零件时的姿态。	定义零件，给零件添加附着点 CP 和 RP。
--------------------------------	------------------------

本例中的场景如下图所示，机器人上安装有一个法兰工具和快换工具夹爪，需用夹爪抓取并放开“工”字形零件。抓取时，工具抓取零件上的“抓取点”；放开时，零件与的点称为“放开点”。所以需要为零件添加一个或若干个抓取点 CP，一个或若干个放开点 RP。

#### ■ 添加抓取点 CP

添加的步骤如下图所示：



图示：添加 CP 点步骤

❖ 选择要固定的姿态：

这里提供了三种附着点的姿态，设置的是抓取时机机器人的抓取姿态。

**一般情况下的抓取规则：**工具 TCP 的 Z 轴与 CP 点的 Z 轴相对，两者的 X 轴同向，Y 轴反向。

**XYZ 都不变：**机器人抓取时按照一般情况下的抓取规则抓取；

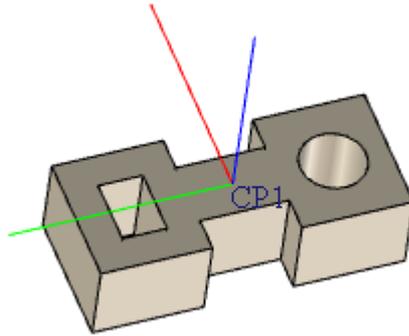
**Z 不变，X 可反向：**抓取时如遇到不可达或者其他障碍情况，机器人可打破一般抓取规则，抓取方向为 CP 点 X 轴旋转 180° 的方向。

**Z 不变，XY 任意：**此种设定让机器人的抓取姿态更为灵活。根据零件的位置，机器人可不受限制地选择抓取的方向。



图示：编辑 CP 点步骤

添加完 CP 点后，效果如下图所示：



图示：生成的 CP 点

### ■ 自动添加放开点 RP

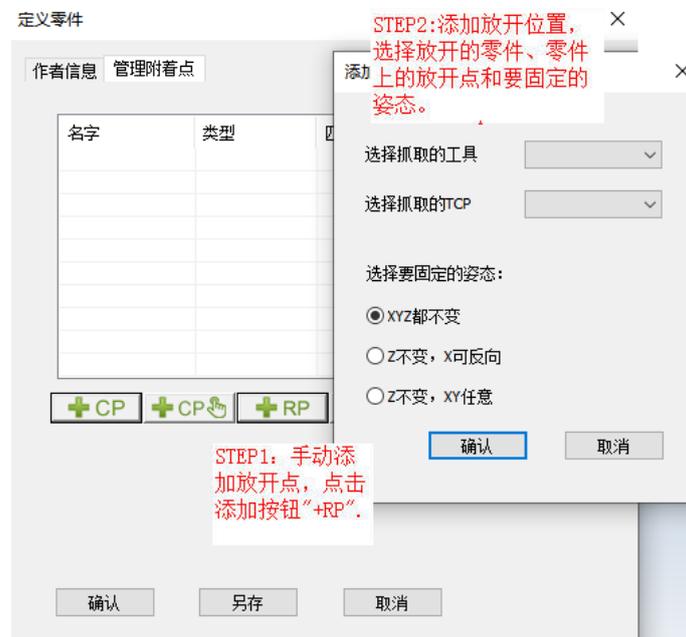
注意：在为零件添加放开点之前，放置零件的工作台上需要有放开点 RP。

RP 的添加有两种方式：自动和手动。

 自动添加放开点按钮：通过“添加放开位置”对话框，选定零件放开点的位置和姿态。

 手动添加放开点按钮：利用直接弹出的三维球对 RP 点进行编辑。

自动添加放开点的详细步骤见下图：



图示：自动添加放开点步骤

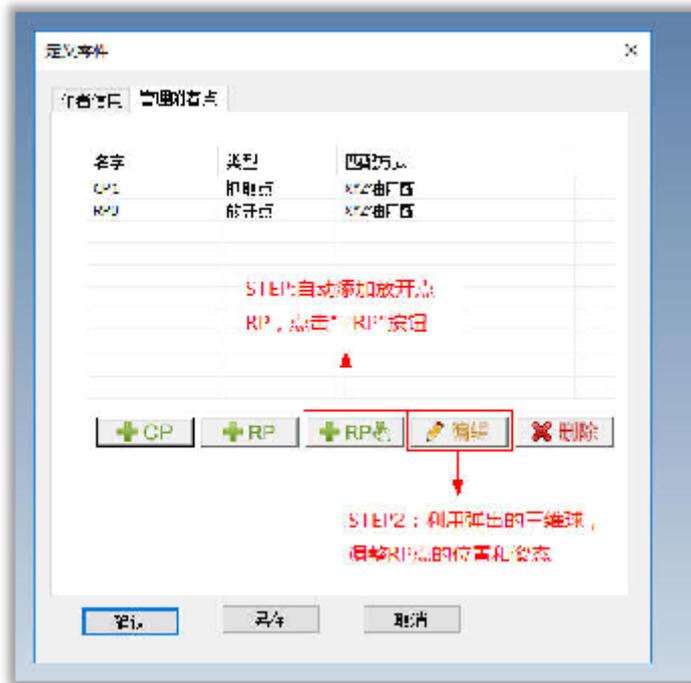
注意：这里“选择放开的零件”为安放定义零件的工作台。

“选择零件上放开点”为工作台上的放开点 RP。

生成的放开点姿态。

## ■ 手动添加放开点 RP

手动添加放开点 RP 的详细步骤见下图：



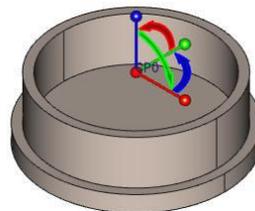
图示：手动添加放开点步骤

根据需求，利用三维球调整 RP 点的位置和姿态，本例中调整好的放开点如下图所示：

### 直接手动插入 CP：

使用该功能，不再要求场景下必须存在机器人抓取着零件这个添加的前提条件，添加 CP 点更加随意、方便。

注意：已经定义成零件的物体，仍旧可以通过单击“【自定义】/【零件】/【定义零件】”，选择冲定义的零件，来实现对其的再次编辑。



图示：定义零件功能界面

为了应付各种工况需求，软件支持用于法兰装夹、快换、外部工具等多种自定义工具方式，并支持工具的多姿态定义。

## 3.3 定义工具

### 3.3.1 基础知识

**工具:** 机器人工作时所使用的器具，软件支持的格式为 `robt`，工具共分为三类：法兰工具，快换工具和外部工具。

### 3.3.2 名词解释

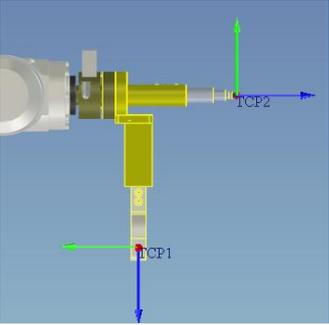
**FL:** 即法兰工具与机器人法兰盘的相接点，也可理解为法兰工具的安装点。

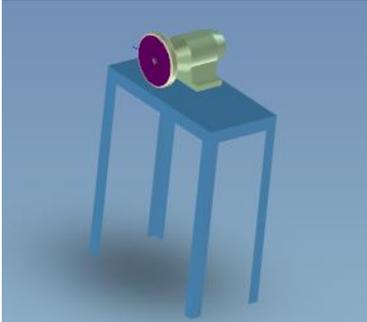
**CP:** 工具侧用的一端需要与机器人侧用相接，相接处即为 **CP**，也可理解为安装点、抓取点。

**TCP:** 全称为 `tool center position`，即工具中心点，指的工具工作时的位置。

### 3.3.3 三种工具

下面详细介绍三种工具。

工具种类	说明	图示
法兰工具	法兰工具指的是安装在机器人法兰盘上的工具。 法兰盘：通常是指在一个类似盘状的金属体的周边开上几个固定用的孔，用于连接其它东西。	
快换工具	快换工具：由机器人侧用和工具侧用组成。机器人侧用指的是与机器人法兰盘连接的工具，工具侧用指的是与法兰工具连接的工具。当机器人需要完成两种及以上的任务时，通过快换工具可以快速更换工具，而不用从法兰盘上拆下工具，省时省力。	

外部工具	外部工具是没有安装在机器人上的工具，如打磨机、砂轮等。有时机器人需要手持工件配合使用外部工具。	
------	---	--

### 3.3.4 定义流程



### 3.3.5 导入工具的三维模型

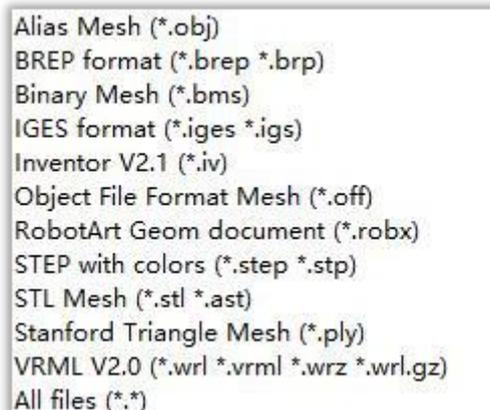
定义工具前首先要导入三维模型，三种工具的导入过程完全一样。

**位置：**通过【输入】来导入模型，该按钮位于【自定义】下的【工具】中。



图示：“输入”位置

支持目前市面上绝大多数主流的 CAD 模型的导入，如下图所示：



图示：软件支持的模型格式

### 3.3.6 添加点并编辑附着点

工具安装到机器人上需要有安装点（FL/CP），加工工件需要有加工点（TCP），因此定义工

具时需添加并编辑附着点。

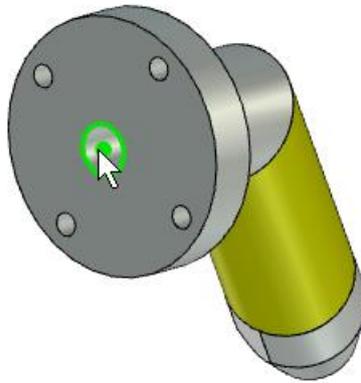
❖ 一个工具只能添加一个 FL 和 CP，但可添加多个 TCP。

### 3.3.7 法兰工具

该类工具一端需要安装到法兰盘上，需添加一个 FL 点；另一端加工工件，需添加至少一个 TCP 点。

### 3.3.8 添加点 FL

FL 是和机器人法兰盘相连接的点（下图绿色高亮的位置是此工具和机器人法兰盘相连接处），编辑好 FL 点，工具就能安装到法兰盘上了。



图示：点 FL 位置

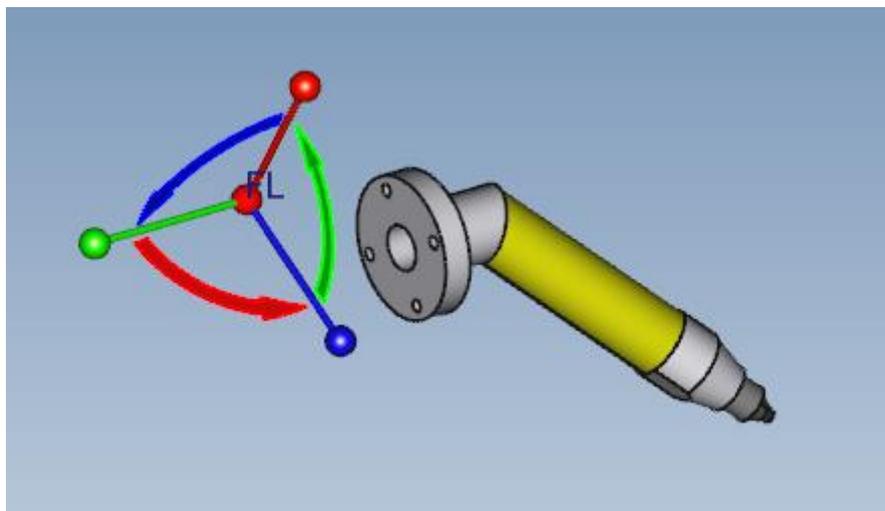
点击【定义工具】，弹出定义工具窗口。



图示：“定义工具”界面

选择【工具类型】为“法兰工具”。

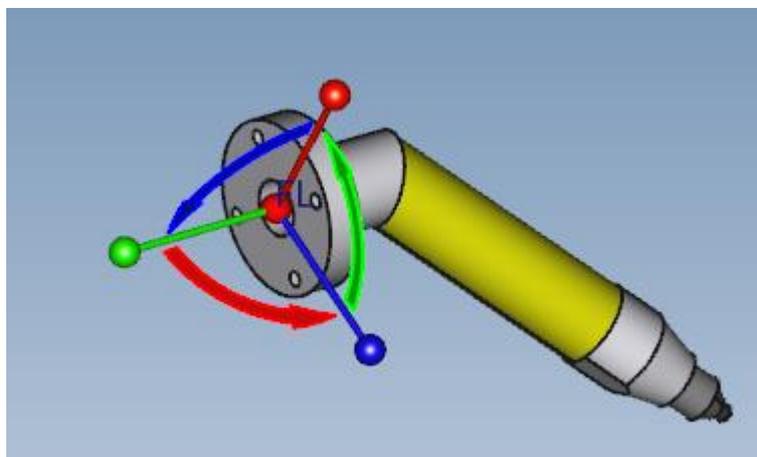
点击 ，工具附近会弹出三维球，通过三维球来调整点 FL。



图示：添加 FL 点

#### 调整 FL 点的位置

FL 是和机器人法兰盘相连接的点，所以要把点 FL 调移至工具与机器人法兰盘连接处。



图示：调整 FL 点的位置

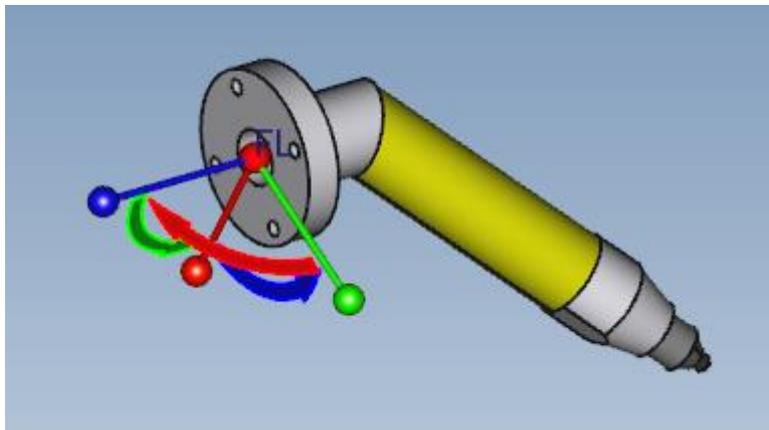
注：这里的三维球只会改变 FL 点的位置，不与工件关联。三维球在蓝色状态下，操作三维球时只有 FL 点会移动，工具不会动。

用三维球调整 FL 和 TCP 的位置和姿态，只要最后能够使得二者都在工具中心点即可，调整过程可多样。

快换工具和外部工具也适用于该说明。

FANUC 机器人法兰盘坐标系是 Z 轴朝里的，其他机器人的法兰坐标是 Z 轴朝外的，FL 的 Z 轴与法兰盘坐标的 Z 轴相对，X 轴和 Y 轴与法兰坐标相向，所以要调整 TCP 的 Z 轴朝外，X 轴和 Y 轴的方向根据实际要求而定。

当前工具笔调整完毕后的姿态如图示：



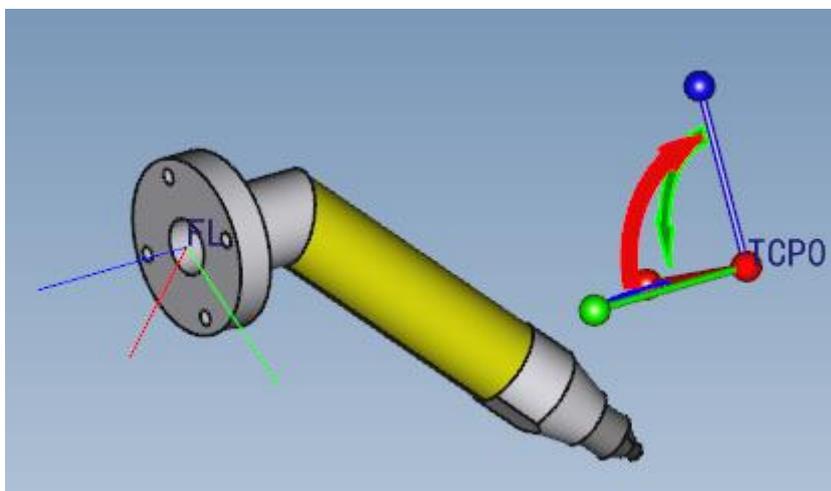
图示：FL 点最终效果

至此，点 FL 的位姿已调整完毕。

### 3.3.9 添加点 TCP

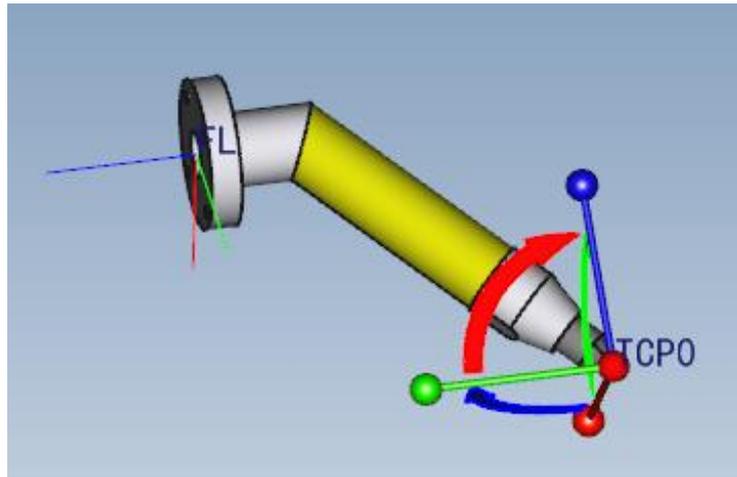
添加原因：TCP 是工具中心点即工具工作的点。只有添加了 TCP，工具才能加工工件。

在定义工具窗口中，选择 ，效果如下图：



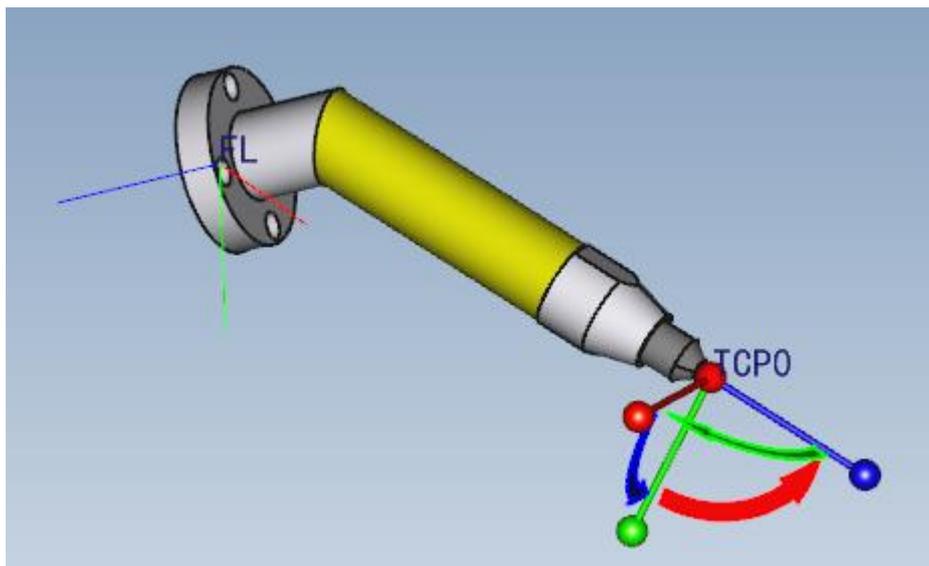
图示：添加点 TCP

要将 TCP 安装在工具中心点处，所以要调整 TCP 的位置，用三维球进行调整后如下图：



图示：调整 TCP 的位置

接下来需要调整 TCP 的姿态。因为 TCP 的 Z 轴会与轨迹的 Z 轴相对，一般为了方便使用会让 TCP 的 Z 轴朝外。



图示：调整 TCP 的姿态

至此，点 TCP 也添加完成了。点击【另存】即可保存工具。

### 3.3.10 快换工具

快换工具由机器人侧用和工具侧用两部分构成。

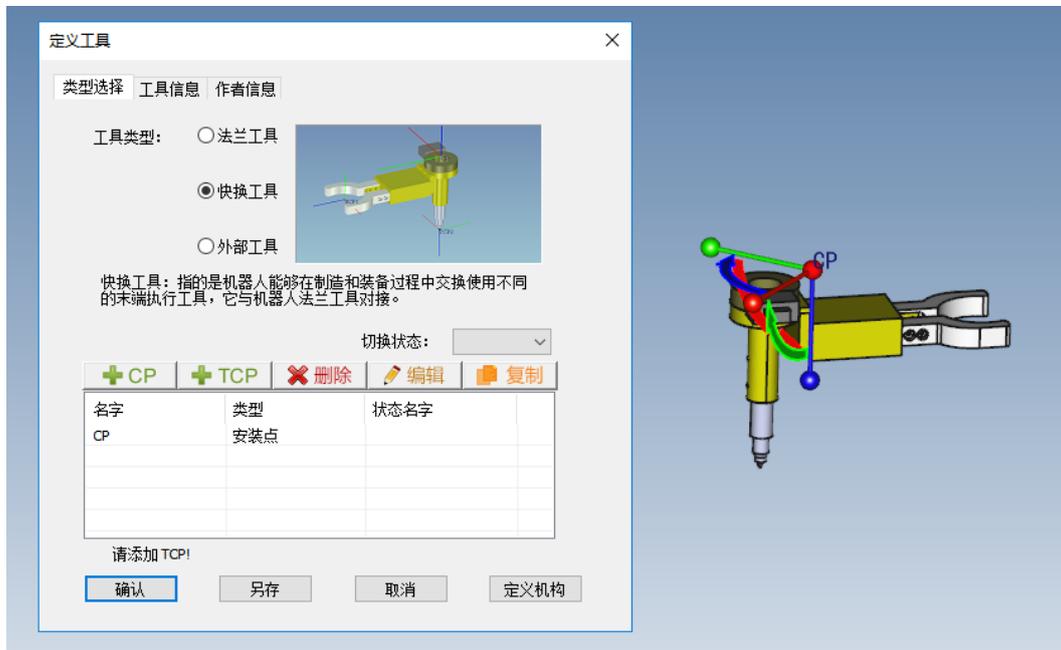
自定义机器人侧用与定义法兰工具一样。

工具侧用的一端需安装到机器人侧用上，要添加一个 CP；另一端加工工件，需添加至少一个 TCP。

### 3.3.11 添加点 CP

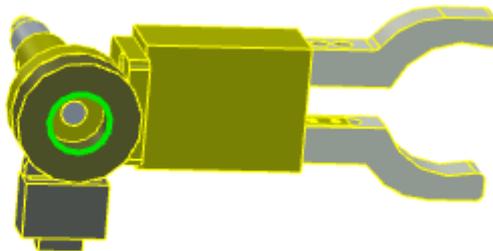
CP 是法兰工具与快换工具的相接口。只有添加了点 CP, 工具侧用才能安装到机器人侧用上。

在定义工具对话框中, 工具类型选择快换工具, 并点击  添加一个附着点。



图示: 添加点 CP

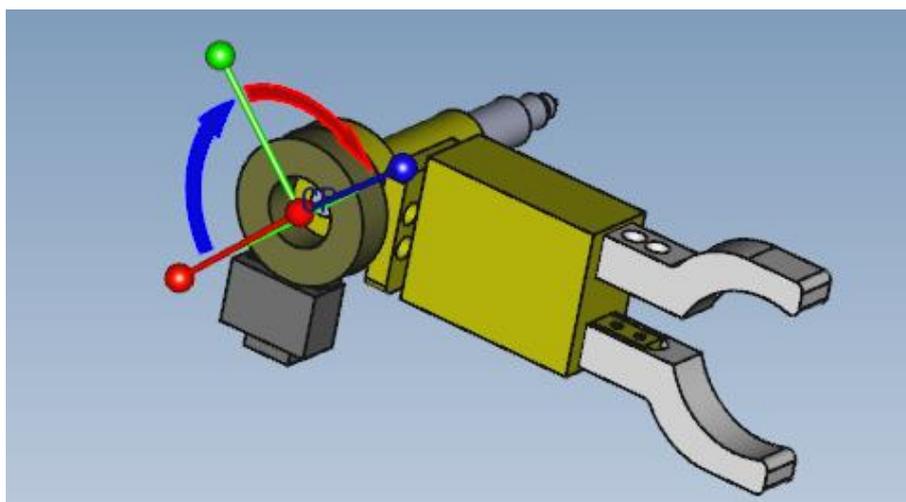
CP 在机器人侧用和工具侧用的相接处, 位置为图示高亮圆的中心点:



图示: CP 点应在的位置

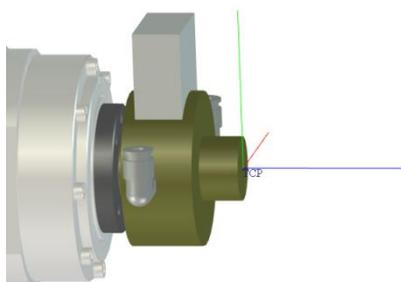
所以还需要调整点 CP 的位置。

利用三维球将 CP 点移动到工具侧用的安装点上。



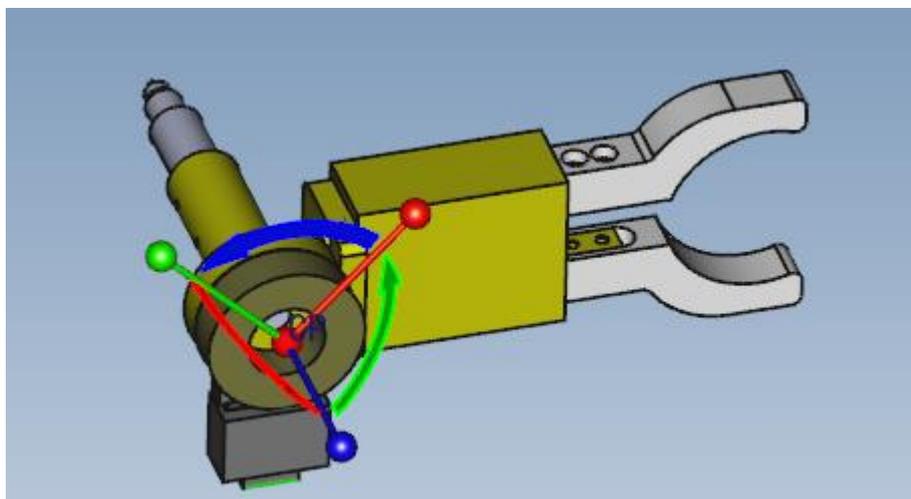
图示：调整 CP 点的位置

机器人侧用的 TCP 坐标轴如下图：



图示：法兰工具的 TCP 坐标系

可以看到 Z 轴是朝外的。即机器人侧用的坐标 Z 轴与工具侧用的相对，X 轴和 Y 轴相向。所以要调整工具侧用的 Z 轴，使其朝外，X 轴和 Y 轴根据实际情况调整。生成效果如下图：



图示：CP 点添加完成效果

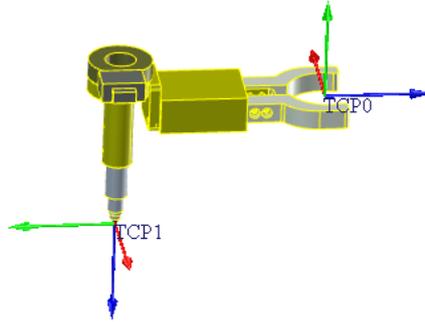
至此，工具侧用的点 CP 已添加完成。

接下来要给工具添加 TCP。

TCP 是工具中心点即工具工作的点.只有添加了 TCP，工具才能明确此点是工作的点。

工具上有多少个地方可以加工工件，就要添加多少个 TCP。本文档中的工具侧用上有夹爪和笔两个末端，所以需要添加两个 TCP。

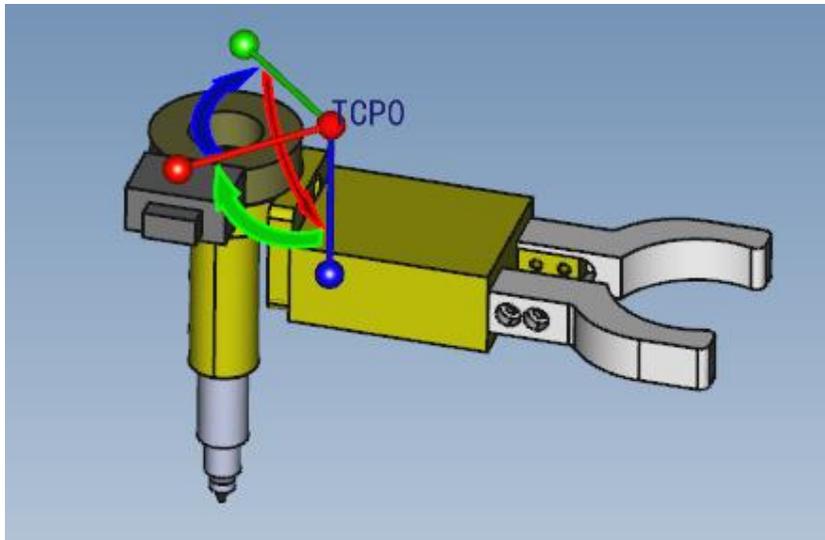
工具夹爪的工作中心点是下图所示的 TCP0 和 TCP1：



图示：TCP 添加完成效果

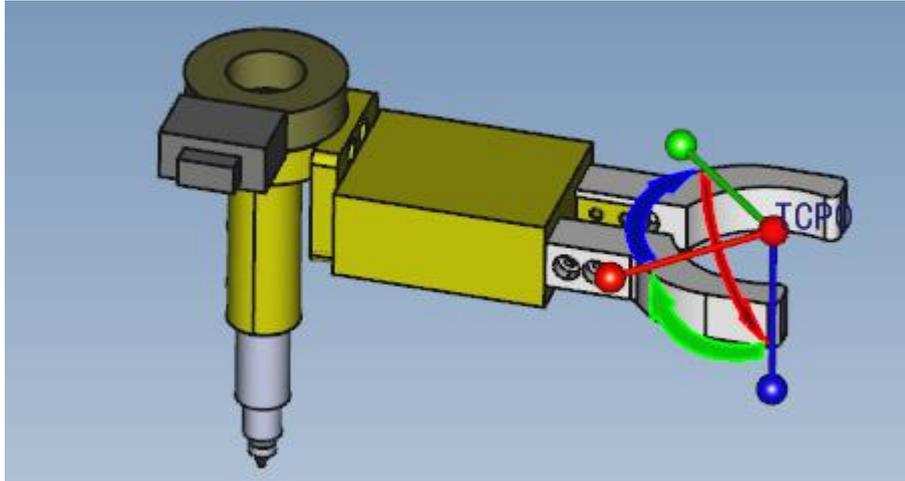
### 3.3.12 给工具夹爪添加 TCP0

在定义工具窗口中点击 ，如下图



图示：添加夹爪 TCP0

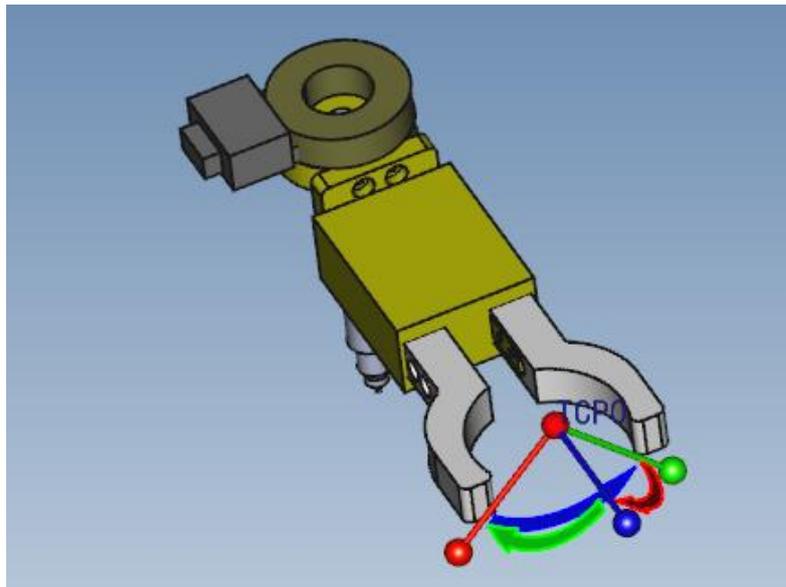
通过三维球将 TCP0 移动到夹爪的中心，效果如下图：



图示：调整 TCP0 的位置

TCP 的 Z 轴方向为工具加工方向，会与轨迹的 Z 轴相对，一般为了方便使用会让 TCP 的 Z 轴朝外。

效果如下图：

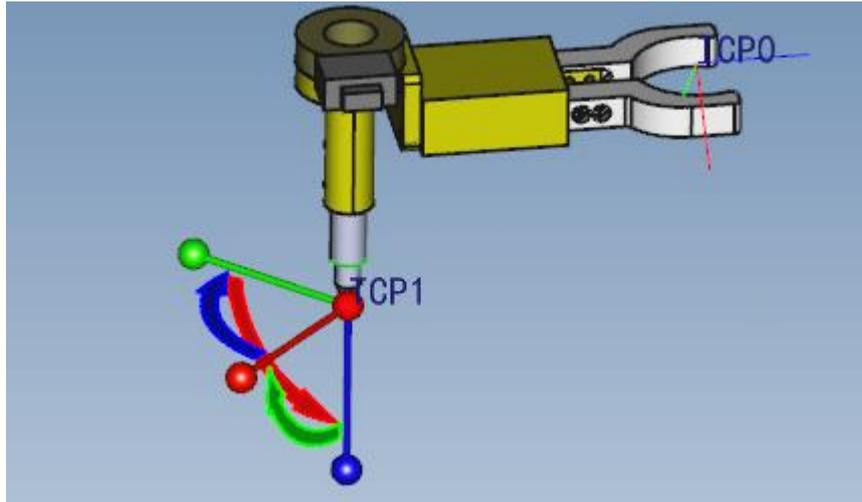


图示：添加 TCP0 完成效果

至此，点 TCP<sub>0</sub> 添加完成。

### 3.3.13 给工具笔添加点 TCP1

过程与添加 TCP<sub>0</sub> 一样。



图示：添加工具笔的 TCP1

至此，工具笔的 TCP1 添加完成。  
点击【另存】即可对其保存。

### 3.3.14 外部工具

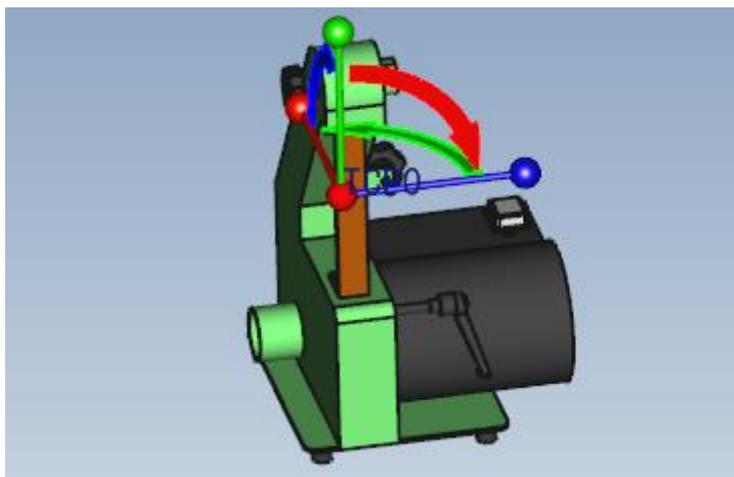
该类工具在机器人外部，无需安装到任何设备上，只需添加加工工件的 TCP 点即可。

### 3.3.15 添加点 TCP

添加原因：因为 TCP 是工具中心点即工具工作的点。只有添加了 TCP，工具才能工作。

在【工具类型】中选择“外部工具”，并点击 。

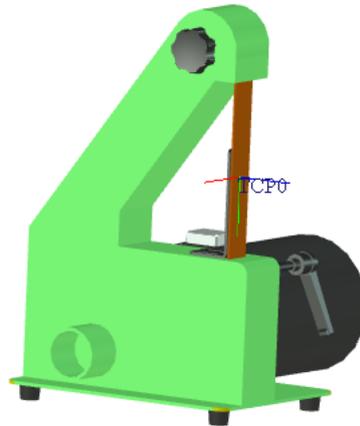
弹出三维球：



图示：添加外部工具的 TCP

外部工具的 TCP 可以在工具上的任意位置，根据需要选定位置。这里把添加的 TCP 移至外部工具工作的中心处。

因为 TCP 的 Z 轴会与轨迹的 Z 轴相对，一般为了方便使用会让 TCP 的 Z 轴朝外。  
效果如下图：



图示：外部工具 TCP 完成效果

附着点 TCP 完成了。

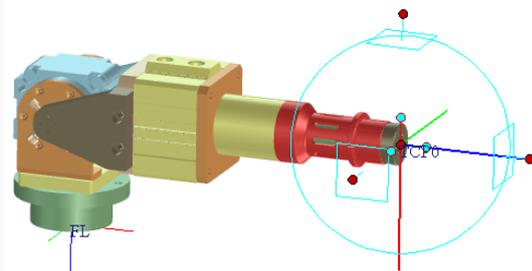
将定义好的外部工具保存即可。

定义变位夹具需经过“模型预处理”→“添加附着点”→“添加状态”三个步骤。

导入模型后，打开软件界面左侧的设计环境面板，点击  打开模型中的所有配件（  打

### 3.3.16 添加附着点 FL 和 TCP

为变位夹具添加安装点 FL 和一个工具中心点 TCP0。



图示：变位夹具的 FL 点和 TCP 点

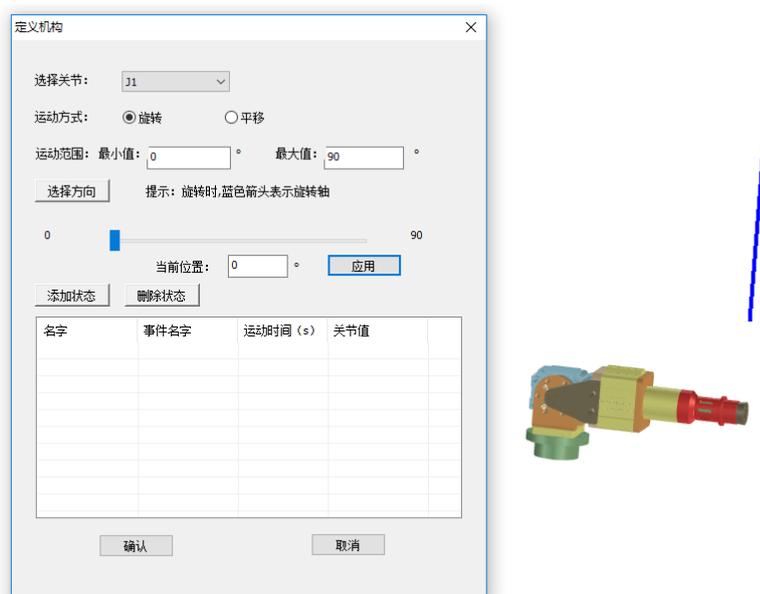
### 3.3.17 添加状态

变位夹具有多个不同的状态，接下来需要为变位夹具添加切换状态。

点击界面中的【定义机构】。

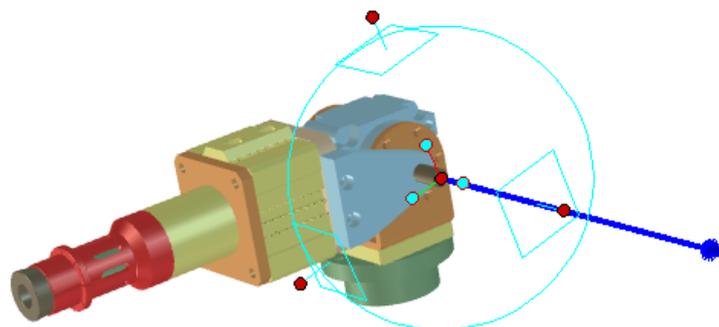
- **选择关节：**选择当前需要定义的关节。
- **运动方式：**包括平移和旋转。
- **运动范围：**关节可运动的最小值和最大值。
- **选择方向：**定义工具的旋转轴。

点击【选择方向】，弹出蓝色箭头，该箭头表示的是1轴的旋转轴，需要对其定义，利用三维球将其移动到1轴中心位置。



图示：定义工具中心轴

蓝色箭头移动到1轴中心位置后，效果如图：



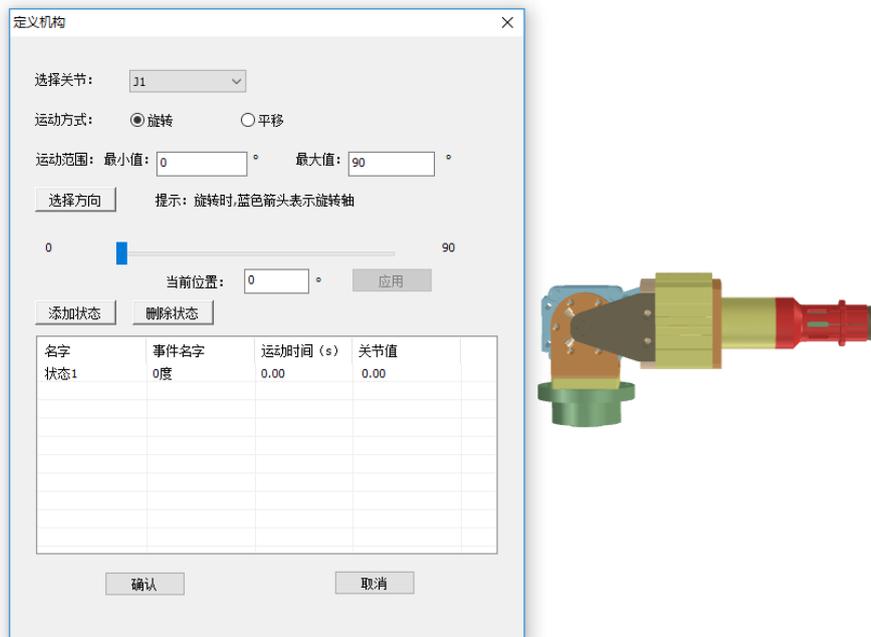
图示：定义工具中心轴

点击 **应用** 按钮，确认当前操作。

- **添加状态：**为工具添加一种/多种状态，数量根据工具可切换的角度数目而定。

- **删除状态：**删除所选中的状态。

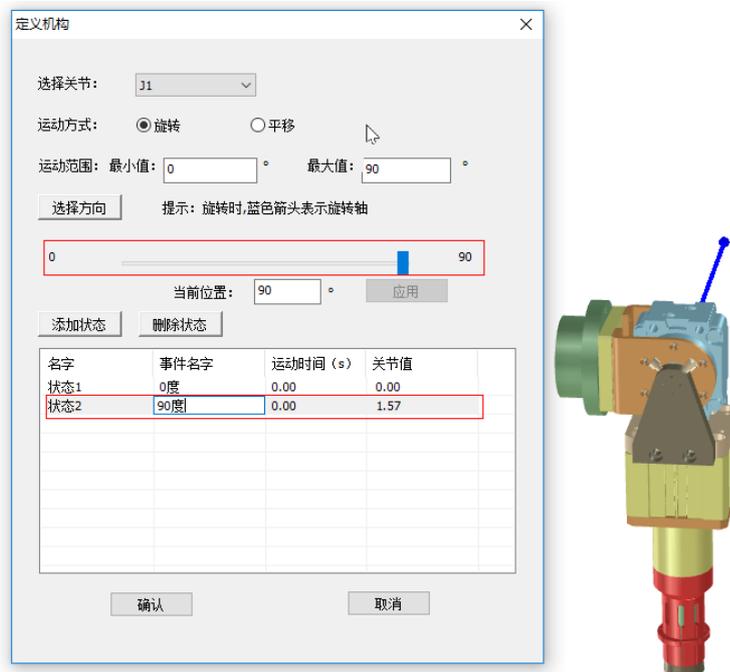
点击【添加状态】后，默认工具当前的状态为状态 1，填入事件名称。



图示：添加状态 1

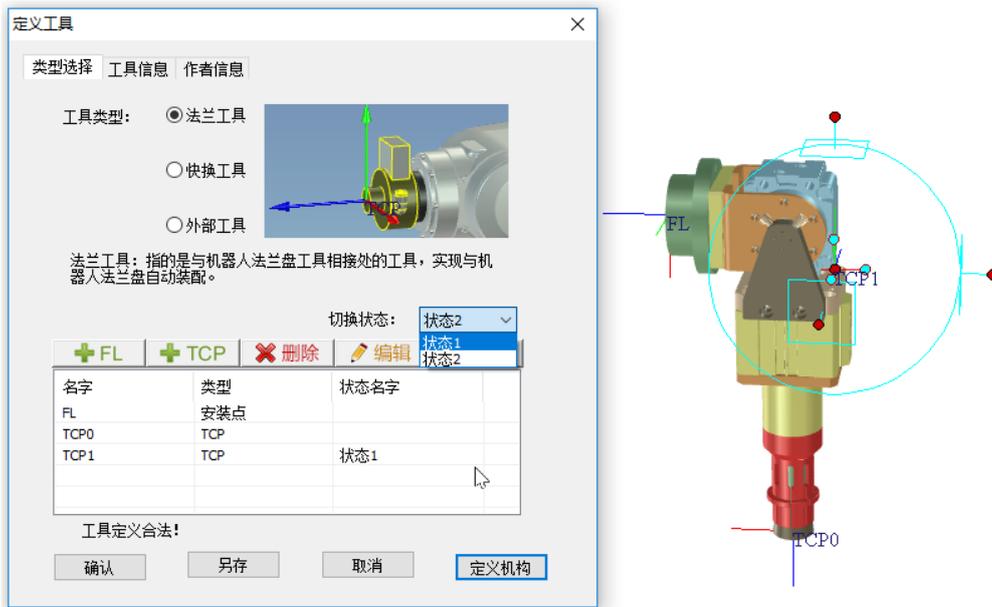
添加状态 2：将页面中的蓝色滑动器拖到右侧最大值 90°，绘图区的工具 1 轴即旋转了 90 度。添加状态 2，为其设定一个事件名字。

可以看到，状态 2 的关节值为 1.57。



图示：添加状态 2

此时已经为工具添加完毕两个状态，点击【确认】即可。当然还可根据需求添加更多状态。在定义工具窗口中已存在两种切换状态：状态 1 和状态 2。需要为状态 2 添加一个 TCP 点。



图示：状态 2 添加 TCP 点

添加完 TCP1 后，需利用三维球使其在工具中心点，并让 Z 轴朝外。

**注意：**TCP1 的 X 轴与 TCP0 的 X 轴姿态方向应保持一致。

### 3.4 定义底座

软件支持定义机器人的底座，定义底座时安装点自动生成，且可用三维球调整，操作简便化。

关键点：附着点 Z 轴方向为机器人安装到底座上的安装方向。

定义底座的流程包括三步：



#### 3.4.1 导入模型

在定义前需先导入底座的模型。

**位置：**通过【输入】功能将底座模型导入进来。该按钮位于【自定义】下的【底座】中。



图示：“输入”位置

软件支持目前市面上绝大多数主流的 CAD 模型的导入，如下图所示：



图示：软件支持的模型格式

### 3.4.2 定义底座

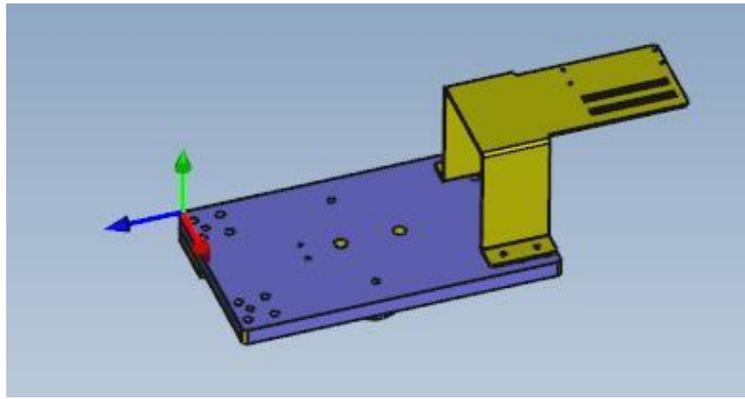
定义底座时需要先添加一个安装点。安装点的位置和姿态决定了底座附着在机器人上的位置及安装方向。

**位置：**位于【自定义】下的【底座】。



图示：“定义底座”位置

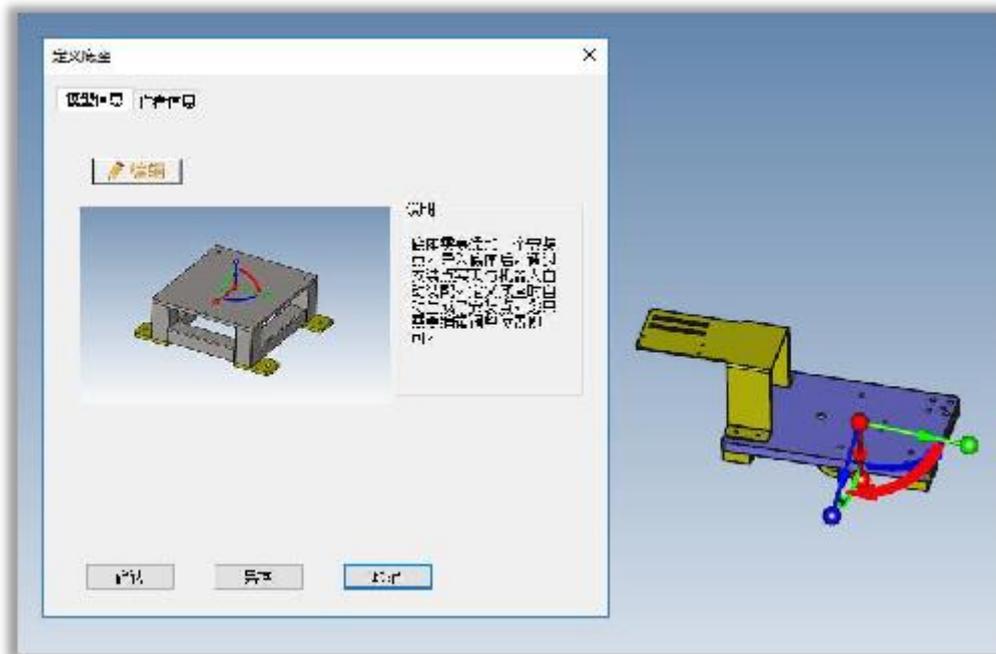
- 点击 ，弹出定义对话框，同时底座模型上自动生成一个安装点。



图示：生成安装点

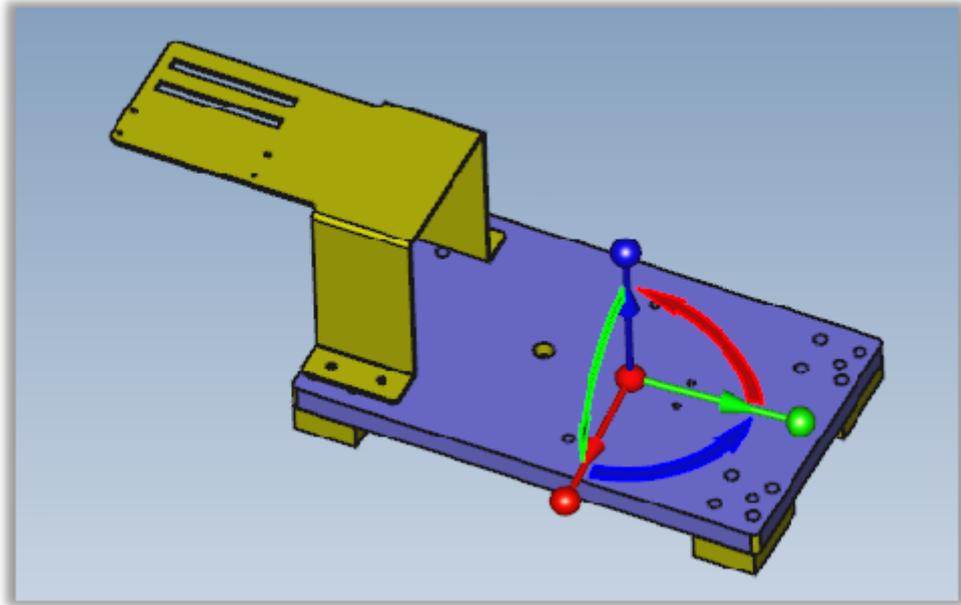
- 通过定义界面的  按钮来编辑附着点的位置和姿态。

点击“编辑”按钮后，模型上自动弹出三维球，可利用三维球根据需求来调整机器人安装位置。安装点的Z轴为机器人安装到底座上的安装方向。一般来说，Z轴轴向朝上。



图示：编辑附着点的位置和姿态

调整后：



图示：调整后的附着点

**【确认】** 确认安装点位置。

**【另存】** 将定义好的底座保存到指定位置，格式为 robs。