

## KUKA（库卡）机器人工具测量办法 （法兰工具、固定工具）

RobotArt 离线编程软件要想和真机完美结合，保持动作一致，需要按整个离线编程软件使用流程的要求的一环要求，进行软件环境和真实环境之间进行校准操作。

（机器人）零点校准—》（工具）TCP 校准—》（被加工）零件校准

因为 KUKA 的技术手册和 RobotArt 要求的有很大出入。因此，这篇文章只讲述 RobotArt 控制 KUKA 机器人时，工具 TCP 的校准办法。零点校准（即指：基坐标测量）和零件校准请看 KUKA 的相关技术文档即可，这里不做详细表述。

RobotArt 内对机器人工具的工具中心点 (TCP) 加工方向的定义和 KUKA 提供的编程手册所描述的有所不同（如下图所示）：

KUKA 手册上要求工具的工具中心点 (TCP) 姿态的 X 轴朝外为作业方向；

RobotArt 要求 TCP 姿态的 Z 轴朝外为作业方向

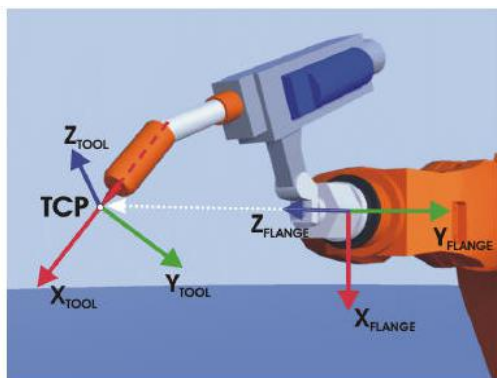


图 3-12: TCP 测量原理

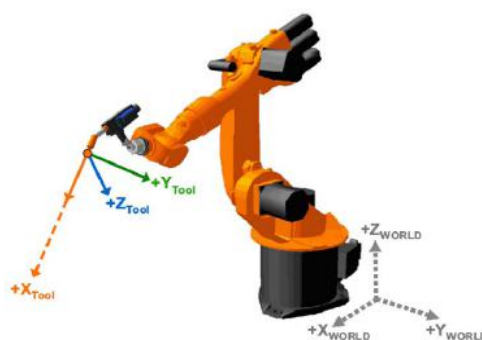
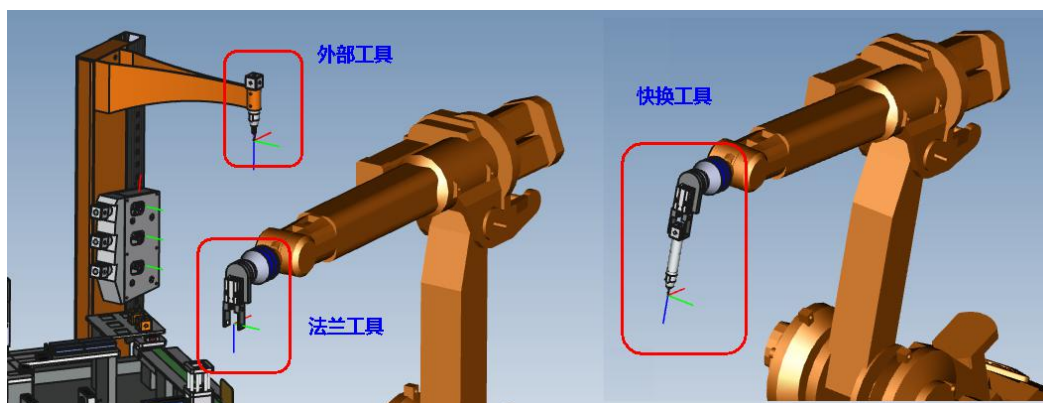


图 3-14: 作业方向 TCP

图示：KUKA 对 TCP 的要求 (X 轴朝外为加工方向)



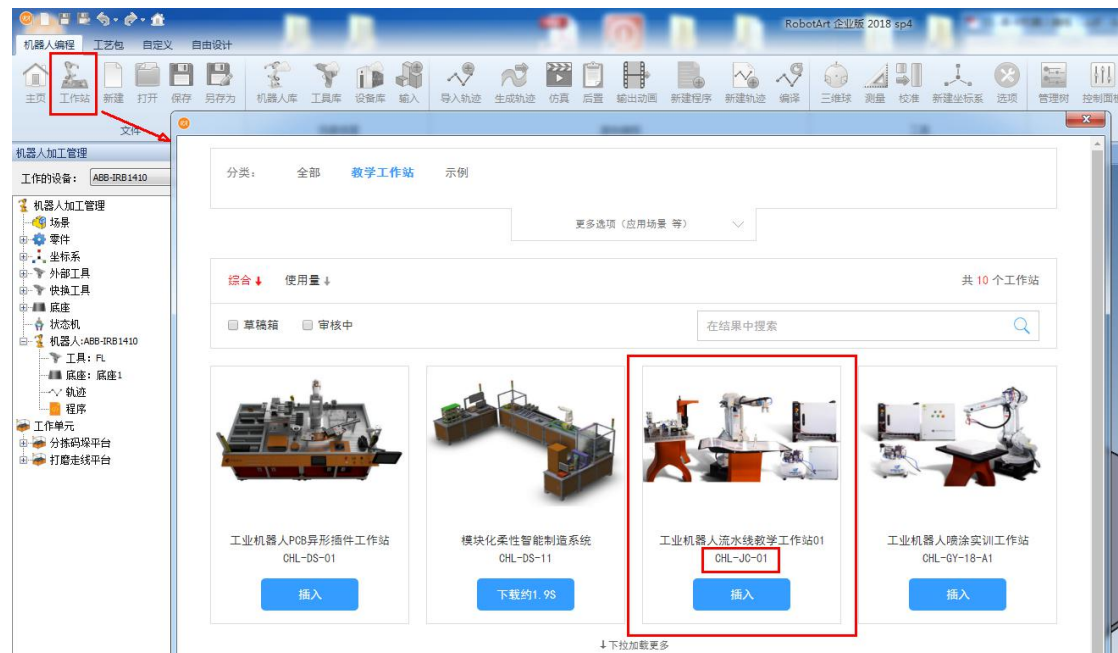
图示：RobotArt 对 TCP 的要求 (蓝色 Z 轴朝外为加工方向)

因此，如果使用 RobotArt 对含有 KUKA 机器人的工作场景进行编程时，事先要对真实机器人本体安装的工具 TCP 进行测量时（也叫 TCP 校准），不能完全按照 KUKA 编程手册内的描述去操作，否则就会出错。

**讲前需要补充两点：**

1. 库卡 (KUKA) 机器人编程手册内虽然对工具 TCP 加工方向的轴及轴的朝向和 RobotArt 要求的不一致。但是：里面描述的确确定工具的工具中心点 (TCP) 相对于机器人 BASE 坐标系的空间位置 (XYZ) 的讲述是正确的；用于确定 TCP 空间姿态 (ABC) 的讲述也是正确的。
2. 机器人的工具分三大类：法兰工具、快换工具、外部工具。前两者的测量办法基本一致，外部工具是另一类的，下面会分别介绍。

下面结合 RobotArt 软件工作站内的 CHL-JC-01 工作站的校准过程，给大家讲解一下 KUKA 机器人的法兰工具的测量办法。



图示：CHL-JC-01 工作站加载位置

## 1. 法兰工具测量

### 1.1 法兰工具测量的途径（仅仅讲一下标红的办法）

工具测量分为 2 步：

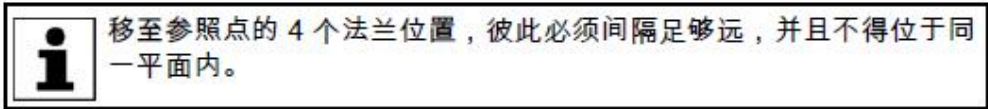
| 步骤 | 说明   |
|----|--|
| 1  | <p><b>确定工具坐标系的原点</b></p> <p>可选择以下方法：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ XYZ 4 点法</li> <li>■ XYZ 参照法</li> </ul>   |
| 2  | <p><b>确定工具坐标系的姿态</b></p> <p>可选择以下方法：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ABC 世界坐标法</li> <li>■ ABC 2 点法</li> </ul> |
| 或者 | <p>直接输入至法兰中心点的距离值 (X,Y,Z) 和转角 (A, B, C)。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 数字输入</li> </ul>                      |

### 1.2 TCP 测量的 XYZ 4 点法

将待测量工具的 TCP 从 4 个不同方向移向一个参照点。参照点可以任意选择。机器人控制系统从不同的法兰位置值中计算出 TCP。

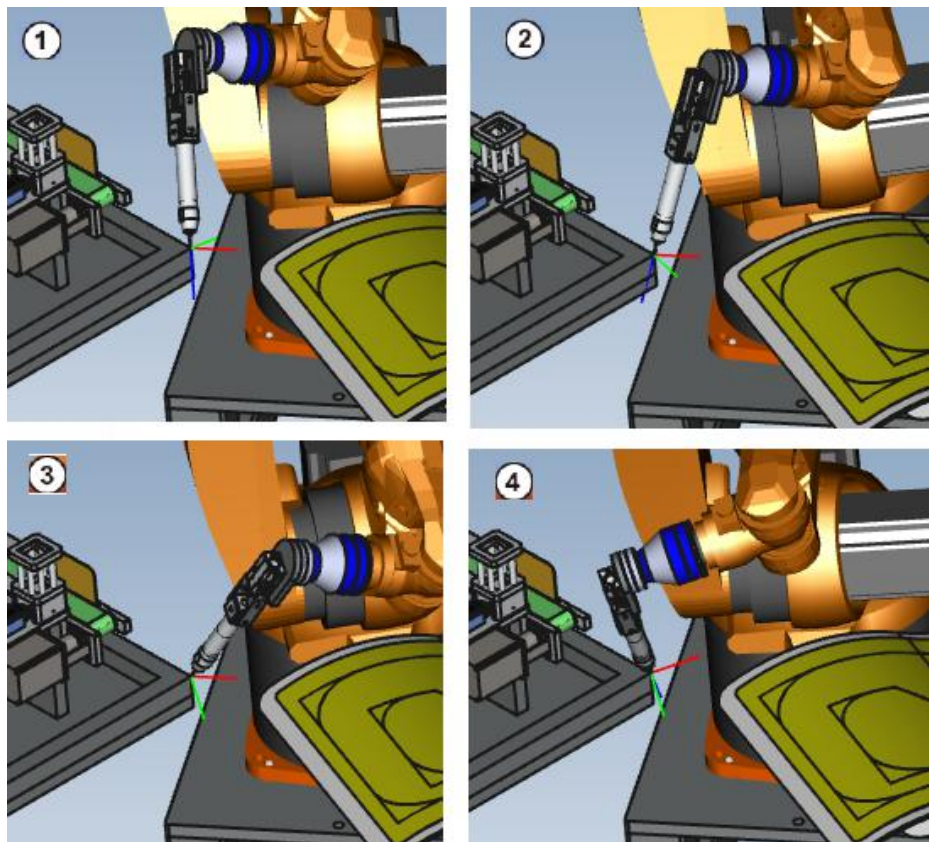
试教法法兰工具的 TCP 时，不借助顶针，而选择桌子的边角，是因为 KUKA 机器人无论法兰工具、快换工具或外部工具（固定工具）的 TCP 校准，不仅仅是简单试

教多个点，后面还用 ABC 2 点法去试教 TCP 姿态。后面试教姿态时，如果周边没有含有边线的模型作为参考，移动或者摆设机器人末端的法兰姿态时会很困难。



XYZ 4 点法的操作步骤：（库卡示教器操作）

1. 选择菜单序列 投入运行 > 测量 > 工具 > XYZ 4 点。
2. 为待测量的工具在给定一个号码和一个名称。用 继续键 确认。  
(这个法兰工具的编号需要记住,后面校准外部工具时,需要手工输入这个编号)
3. 用 TCP 移至仍以一个参照点。按下软键 测量，对话框“是否应用当前位置？继续测量”用 是 加以确认。
4. 用 TCP 从一个其他方向朝参照点移动。重新按下测量，用 是 回答对话框确认。



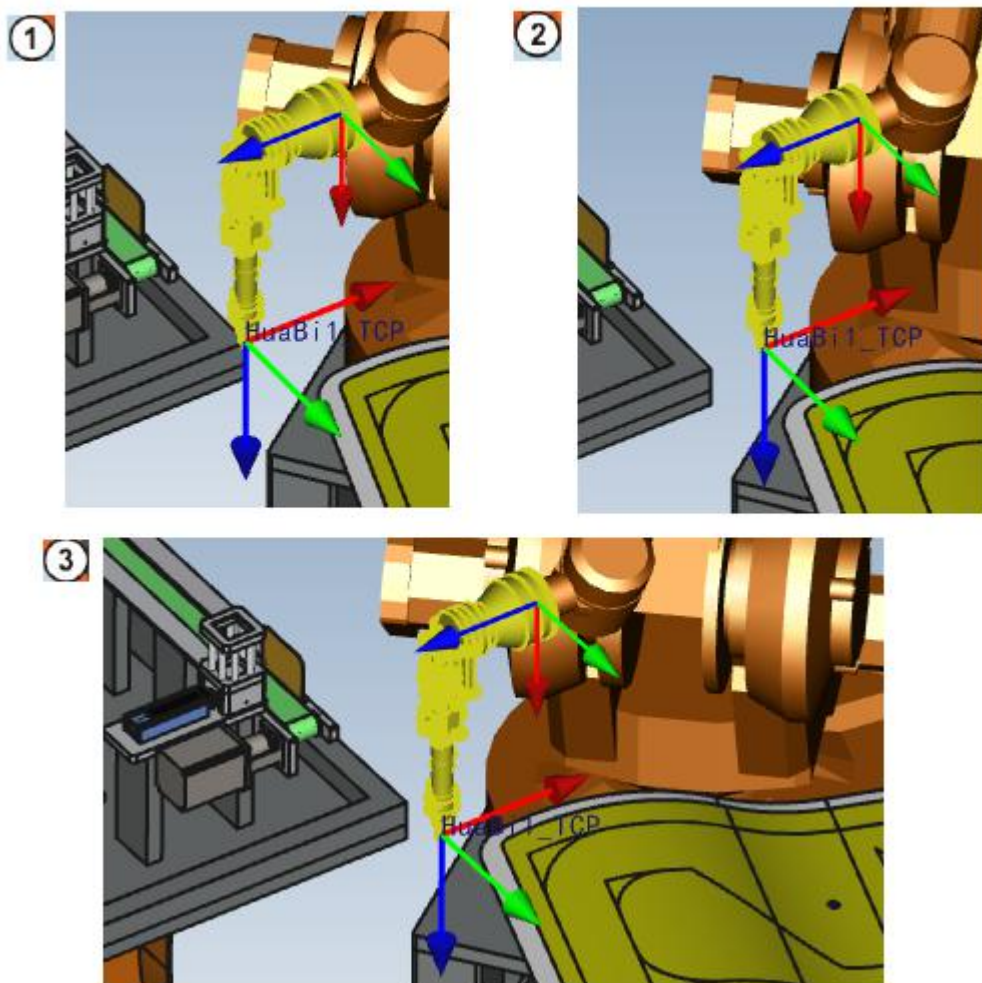
5. 把第 4 步重复两次。（最后一次不一定按图中那样让工具 TCP 垂直朝下。）
6. 负载数据输入窗口自动打开。正确输入负载数据，然后按下 继续 键。
7. 包含测得的 TCP X Y Z 值的窗口自动打开，测量精度可在误差项中读取。数据可通过 保存 直接保存。

### 1.3 姿态测量的 ABC 2 点法

通过趋近 X 轴上一个点和 XY 平面上一个点的方法，机器人控制系统即可得知工具坐标系的各轴。

当轴方向必须特别精确地确定时，将使用此方法。

**i** 下述操作步骤适用于工具碰撞方向为默认碰撞方向 (= X 向) 的情况。如果碰撞方向改为 Y 向或 Z 向, 则操作步骤也必须相应地进行更改。



图示：姿态测量的 ABC 2 点法（真机运动情况）

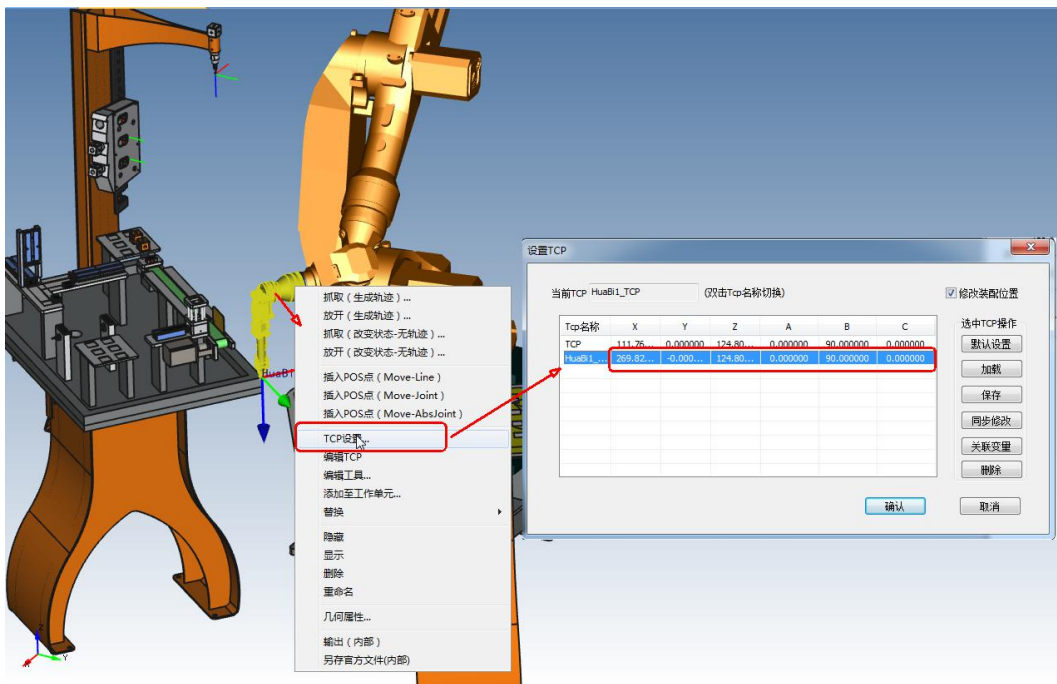
**特别说明：**

1. 姿态测量遵循坐标系的“右手定则”。
2. 确定真实环境下机器人工具的 TCP 坐标系的朝向时, 尽量和软件内定义好的工具 TCP 朝向一致。这样后续校准时, 工具 TCP 的姿态变动很小, 即使事先 RobotArt 内做好的轨迹也不会受到太大影响 (校准前后 TCP 朝向变化太大, 很多事先做好的轨迹会大量变坏)。
3. 确定 X 或 Y 轴正向的原则是: 首先, 选择“工具”为当前坐标系; 然后, 按照示教器上“ABC 二点法”的提示, 结合上图中机器人法兰末端坐标系和当前要测试的工具 TCP 的朝向关系:
  - 3.1 向机器人法兰工具的 **-Z** 方向移动一点距离, 来确定工具 TCP 的 X 轴正向;
  - 3.2 向机器人法兰工具的 **+Y** 方向移动一点距离, 来确定工具 TCP 的 Y 轴正向;(本质就是: 机器人工具 TCP 实际运动的方向就是 X 或 Y 轴的正向方向)



#### 1.4 TCP 校准

从示教器上，将上面校准完成的 TCP 的值，抄录或拍照下来。然后按下图输入到机器人的法兰工具的 TCP 设置 界面内：



特别说明：

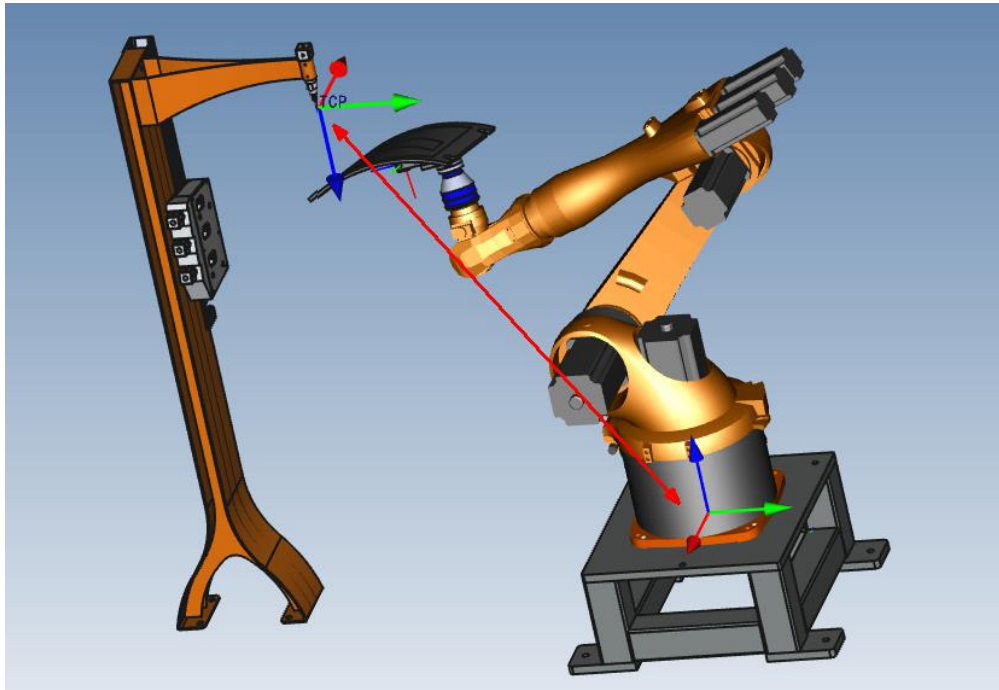
1. RobotArt 内只有法兰工具、外部工具的右键菜单内有“TCP 设置”，快换工具没有；
2. RobotArt 内法兰工具一旦安装了快换工具，则快换工具的 TCP 会被复制到法兰工具内；
3. 抄录试教器内试教的法兰/快换工具的值，移动要看清楚，不要抄错位置。

## 2. 固定工具测量

### 2.1 概述

固定工工具的测量分为 2 步：

- 2.1.1 确定固定工具的外部 TCP 和世界坐标系原点之间的距离；
- 2.1.2 确定外部 TCP，确定该坐标系的姿态。



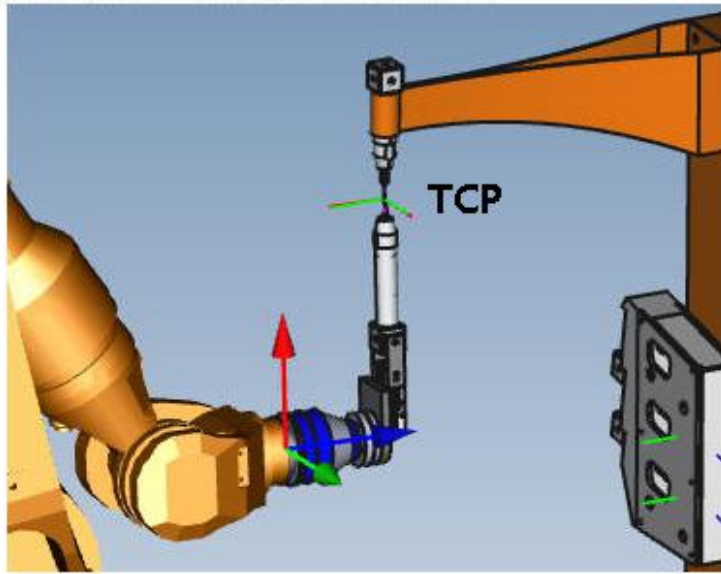
图示：机器人 Base 坐标系和固定工具的关系

#### 特别说明：

固定工具(外部工具)的 TCP，是以群局坐标系 World (或者机器人 Roboroot 也就是 Base 坐标系，因 base 和 world 默认重合)为基准管理外部 TCP，即固定工具(外部工具)等同于基坐标。

### 2.2 测量说明（重点关注 6D 的测量办法）

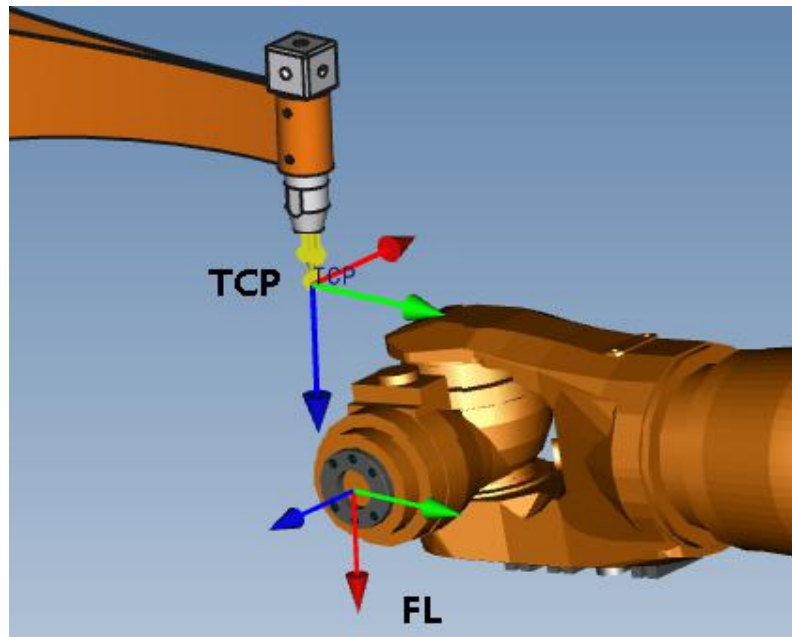
- 2.2.1 确定 TCP 时需要一个由机器人引导的已测工具。（前面试教好的工具即可）
- 2.2.2 确定姿态时要将法兰的坐标系校准 至平行与固定工的坐标系。



图示： 法兰工具移至外部工具

有两种方法：

- **5D**：只将法兰工具的朝向（+X 轴方向）与固定工具 +Z 轴方向 水平且 T 同向。其他轴的姿态将由系统确定，对用户来说，不是很容易地就能识别。
- **6D**：所有 3 个轴的姿态都将告知机器人控制系统。



图示：对坐标系进行平行校准（隐藏了法兰工具）

### 2.3 操作步骤（示教器手工操作）

- 2.3.1 在主菜单中选择：**投入运行>测量>固定工具>工具**。
- 2.3.2 为固定工具指定一个号码和一个名称。用 **继续键** 确认。
- 2.3.3 输入所用参考工具的编号（选已校好的法兰工具名字）。用 **继续键** 确认。  
（因为它要记录到坐标列表内，因此起编号最好靠后，比如从 11 开始）
- 2.3.4 在 **5D/6D** 栏中选择一种规格。用 **继续键** 确认。

2.3.5 用 **已测量的工具** 的 TCP 移动至固定工的 TCP。点击**测量**，并用**是**确认位置。

2.3.6 请看上面的图片（图示：对坐标系进行平行校准）

如果选择 **5D**：

不推荐，按照库卡机器人编程手册介绍的办法无法确定出 Z 轴方向。

如果选择 **6D**：

应对机器人末端法兰进行调整，使它的各轴平行于固定工具的各轴：

FL 的 +X 平行且同向于外部工具的 TCP 的 +Z

FL 的 +Y 平行且同向于外部工具的 TCP 的 +Y

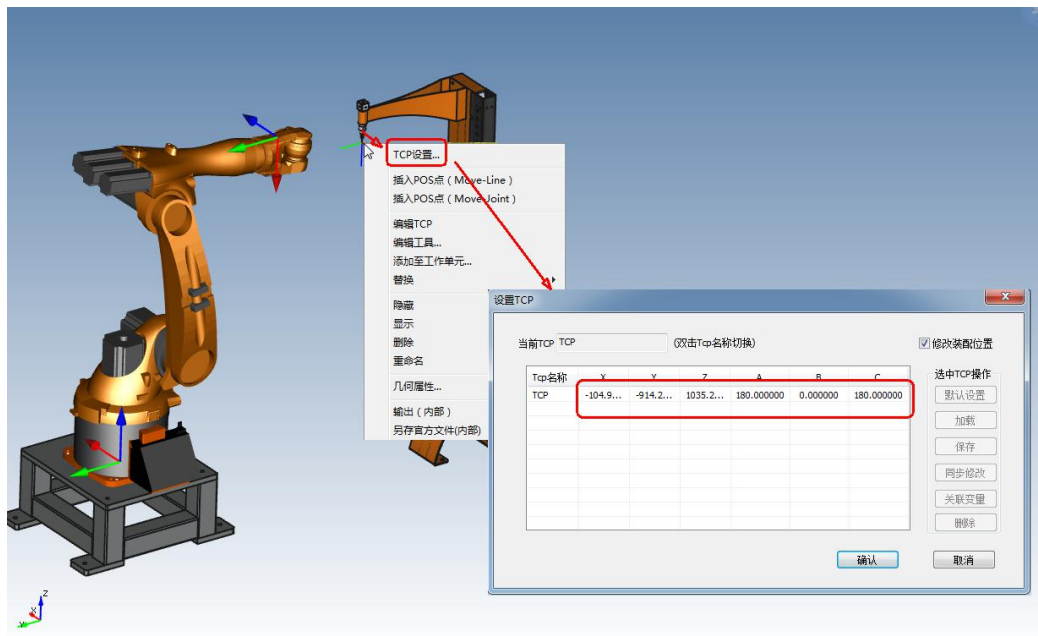
FL 的 +Z 平行且反向于外部工具的 TCP 的 +X

2.3.7 点击 **测量**。用 **是** 确认位置。

2.3.8 按下 **保存键**。

## 2.4 TCP 校准

从示教器上，将上面校准完成的外部工具的 TCP 的值（该值在坐标列表内），抄录或拍照下来。然后按下图输入到外部工具的 TCP 设置界面内：



特别说明：

1. RobotArt 内只有法兰工具、外部工具的右键菜单内有“TCP 设置”，快换工具没有；
2. RobotArt 内法兰工具一旦安装了快换工具，则快换工具 TCP 会被复制到法兰工具内；
3. 抄录试教器内试教的法兰/快换工具的值，移动要看清楚，不要抄错位置。

## 2.5 校准工件

在 KUKA（库卡）的机器人编程手册中，后面会强调还要校准工件。RobotArt 对这块进行了特殊处理，因此不需要再进行校准。

后记：

按照校准的流程，后续还需要借助校准好的法兰工具（最好是一个顶尖型法兰工具），对零件进行工件校准。如何校准顶尖型法兰工具（请看前面内容）和 零件校准，不再详述。