

文档密级：非保密

适用范围：对外公开

# Tracer3D 焊接视觉系统手册

## 西安知象光电科技有限公司

## 修订记录

版本	日期	版本描述	备注
V1.1	2021.6.1	版本创建	
V1.2	2021.6.3	内容调整	
V1.3	2021.6.21	内容修订	
V1.4	2021.7.1	结构调整	
V1.5	2021.7.30	新增功能	新增焊接轨迹计算功能
V1.6	2021.9.3	新增类型	新增立角钢、立槽钢
V1.7	2021.11.11	删除内容	删除机器人选项
V1.8	2021.11.18	新增内容	焊缝识别-形状模板，可依据类型设置参数



## 前言

### 手册内容

本手册介绍了焊接视觉系统的内容及使用说明。内容包括软硬件系统介绍、硬件连接与网络配置、系统标定与标定软件使用、焊接软件的功能及使用说明、通信方式及协议。

### 使用声明

必须仔细阅读本手册，只有理解和阅读相关部分后，才能更熟练的使用本焊接视觉系统。

视觉设备一定要按照指导手册进行气动防护，以免造成设备故障。

### 联系方式

咨询热线：400-168-1992 （工作日 09:00-18:30）

官方网站：<http://www.chishine3d.com/>

官方微信：



## 目录

1. 系统介绍 .....	10
1.1 系统功能 .....	10
1.2 系统构成 .....	10
1.3 产品清单 .....	10
1.4 系统配置流程 .....	11
1.5 运行方式 .....	11
2. 3D 相机及安装 .....	12
2.1 3D 相机 .....	12
2.2 相机安装建议 .....	14
3. 设备连接 .....	16
3.1 硬件连接 .....	16
3.2 网络配置 .....	17
4. 系统标定 .....	18
4.1 系统标定流程 .....	18
4.2 TracerCalibration 介绍 .....	18
4.3 标定设置 .....	20
4.4 内参标定 .....	21
4.5 内参校验 .....	24
4.6 机器人 TCP 标定 .....	25
4.7 手眼标定 .....	25
4.8 手眼标定校验 .....	28
5. TracerStudio 软件操作 .....	31
5.1 软件介绍 .....	31
5.2 用户界面 .....	31
5.3 功能模块 .....	32
5.4 相机设置 .....	32

5.4.1 重命名 .....	32
5.4.2 参数说明 .....	33
5.4.3 多组参数设置 .....	33
5.5 通信设置 .....	35
5.6 机器人匹配 .....	35
5.6.1 添加机器人信息 .....	35
5.6.2 通信方式设置 .....	36
5.6.3 配置手眼矩阵 .....	38
5.7 功能测试 .....	38
5.7.1 在线实时模式 .....	38
5.7.2 离线计算模式 .....	39
5.8 运行监控 .....	39
6. 焊缝识别 .....	41
6.1 功能介绍 .....	41
6.1.1 形状模板 .....	42
6.1.2 轨迹模板 .....	44
6.2 焊缝特征识别 .....	44
6.2.1 工作流程 .....	44
6.2.2 工作模式 .....	45
6.2.3 功能测试 .....	46
6.2.4 注意事项 .....	46
6.3 焊接轨迹计算 .....	47
6.3.1 工作流程 .....	47
6.3.2 机器人工具设定 .....	47
6.3.3 建立轨迹模板 .....	48
6.3.4 工作模式 .....	50
6.3.5 功能测试 .....	50
6.4 应用案例 .....	51

7. 权限查看和升级.....	52
7.1 权限查看 .....	52
7.2 授权升级 .....	52
8. 异常处理.....	55
8.1 软件崩溃 .....	55
8.2 计算错误 .....	55
8.3 走位偏差 .....	57
9. 通信内容及协议.....	58
9.1 通讯协议查阅流程 .....	58
9.2 通讯方式 .....	58
9.2.1 原始数据 Raw Data .....	58
9.2.2 字符串 String .....	59
9.2.3 ModbusTCP .....	60
附录 A 消息列表及时序图 .....	61
A.1 消息列表 .....	61
A.1.1 机器人→视觉 .....	61
A.1.2 视觉→机器人 .....	61
A.2 时序图.....	62
A.2.1 视觉控制.....	62
A.2.2 设置相机参数 .....	62
A.2.3 内参标定.....	63
A.2.4 手眼标定及校验.....	64
A.2.5 焊缝特征识别 .....	65
A.2.6 焊接轨迹计算 .....	66
A.2.7 工件定位.....	67
A.2.8 程序编辑.....	67
附录 B 通讯协议—字符串.....	68
B.1 机器人→视觉.....	68

000: 视觉服务控制.....	68
001: 单步请求焊缝数据 .....	68
002: 多步请求融合焊缝数据 .....	68
011: 单步请求焊接轨迹 .....	68
012: 多步请求融合焊接轨迹.....	69
030: 请求工件定位偏差 .....	69
040: 请求点云拼接.....	70
101: 请求内参标定.....	70
102: 请求手眼标定.....	70
200: 设置相机参数.....	71
B.2 视觉→机器人.....	71
001: 焊缝特征数据.....	71
002: 单元焊接轨迹.....	71
030: 工件定位偏差.....	72
900: 成功 .....	72
999: 错误 .....	72
B.3 消息元.....	72
单条焊接轨迹 SingleWeldPath.....	72
机器人位姿 RobotPose.....	73
线段 WeldSegment.....	73
射线 WeldRay.....	74
曲线 WeldCurve.....	74
有向线段 WeldDirectedSegment.....	74
点组 WeldPoints .....	74
点 Point .....	75
矢量 Vector.....	75
B.4 通讯示例 .....	75
B.4.1 手眼标定 .....	75

B.4.2 钢构焊接 .....	76
附录 C 通讯协议—原始数据 .....	78
C.1 机器人→视觉.....	78
000: 视觉服务控制.....	78
001: 单步请求焊缝数据 .....	78
002: 多步请求融合焊缝数据.....	78
011: 单步请求焊接轨迹 .....	79
012: 多步请求融合焊接轨迹.....	79
030: 请求工件定位偏差 .....	79
040: 请求点云拼接.....	80
101: 请求内参标定.....	80
102: 请求手眼标定.....	80
200: 设置相机参数.....	80
C.2 视觉→机器人.....	81
001: 焊缝特征数据.....	81
002: 单元焊接轨迹.....	81
030: 工件定位偏差.....	81
900: 成功 .....	81
999: 错误 .....	81
C.3 消息元.....	82
单条焊接轨迹 SingleWeldPath.....	82
机器人位姿 RobotPose.....	82
线段 WeldSegment.....	82
射线 WeldRay.....	82
曲线 WeldCurve.....	83
有向线段 WeldDirectedSegment.....	83
点组 WeldPoints .....	83
点 Point .....	83

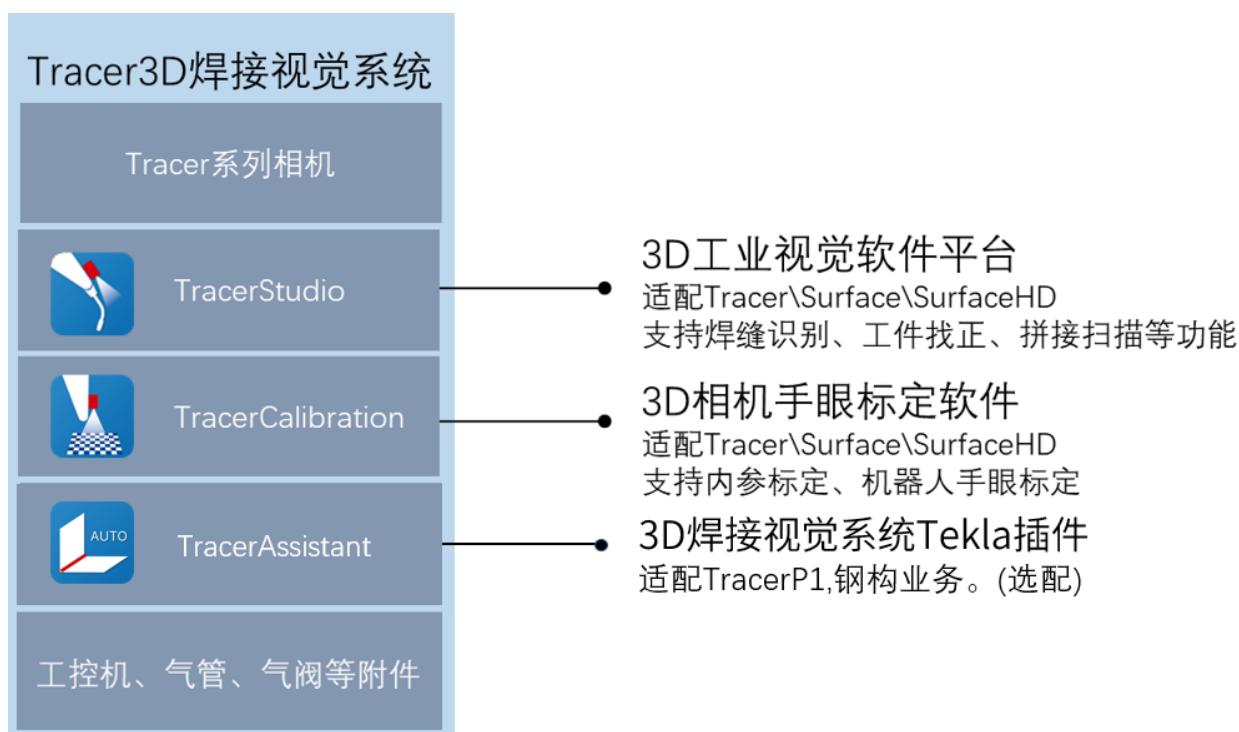
矢量 Vector.....	83
C.4 通讯示例 .....	84
C.4.1 手眼标定 .....	84
C.4.2 钢构焊接 .....	85
附录 D 错误码.....	87
附录 E 焊缝识别—工件类型及焊缝特征.....	88
E.1 焊缝基础元素 .....	错误!未定义书签。
E.2 工件类型与焊缝特征.....	错误!未定义书签。

# 1. 系统介绍

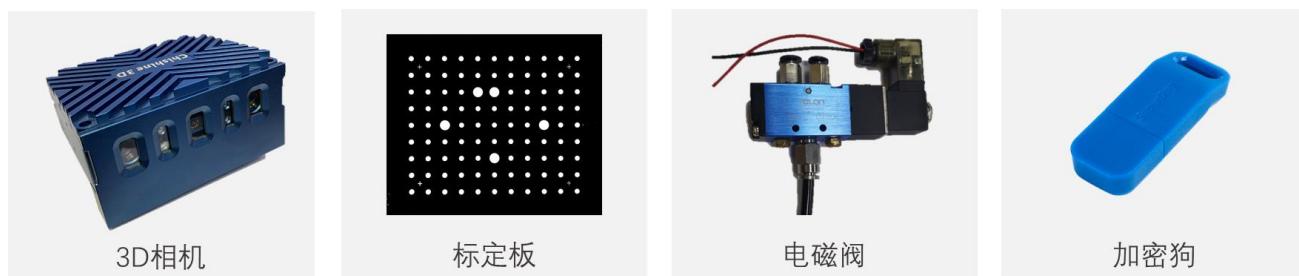
## 1.1 系统功能

Tracer3D 焊接视觉系统（本文简称“视觉系统”），利用高精度的 Tracer3D 相机对焊接工件进行快速拍照，从而在三维点云上对焊缝进行识别，并将焊缝参数传递给机器人，引导机器人进行自动化焊接。该系统的特点是：自主识别，简单高效。

## 1.2 系统构成

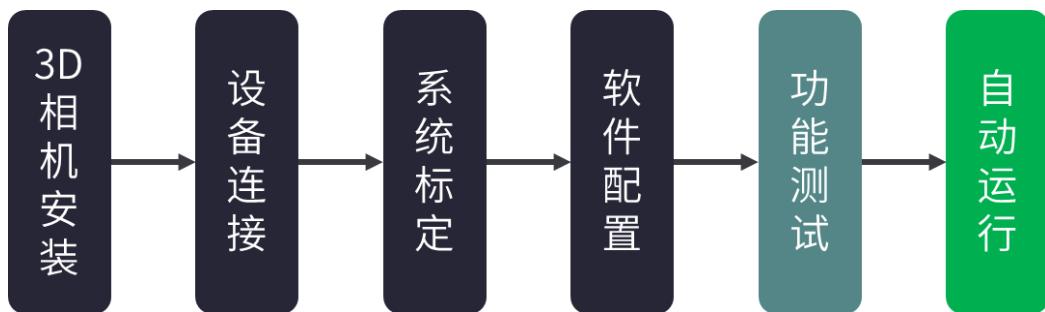


## 1.3 产品清单





#### 1.4 系统配置流程



#### 1.5 运行方式

系统配置完成后，系统是通过网络通讯进行控制与数据传输。



3D 相机单元：负责 3D 图像的采集

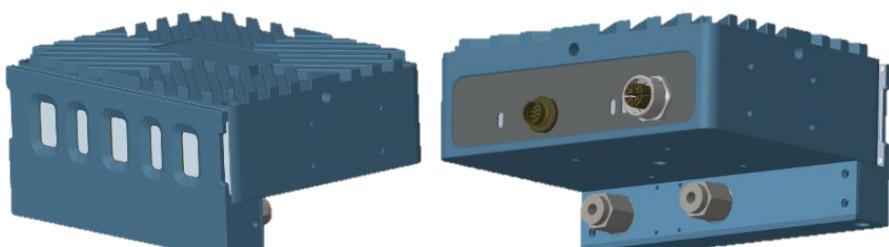
视觉软件单元：负责相机的控制、点云图像处理、算法的执行、机器人通信

机器人单元：负责携带相机拍照、视觉软件通信及控制、焊接工作的执行

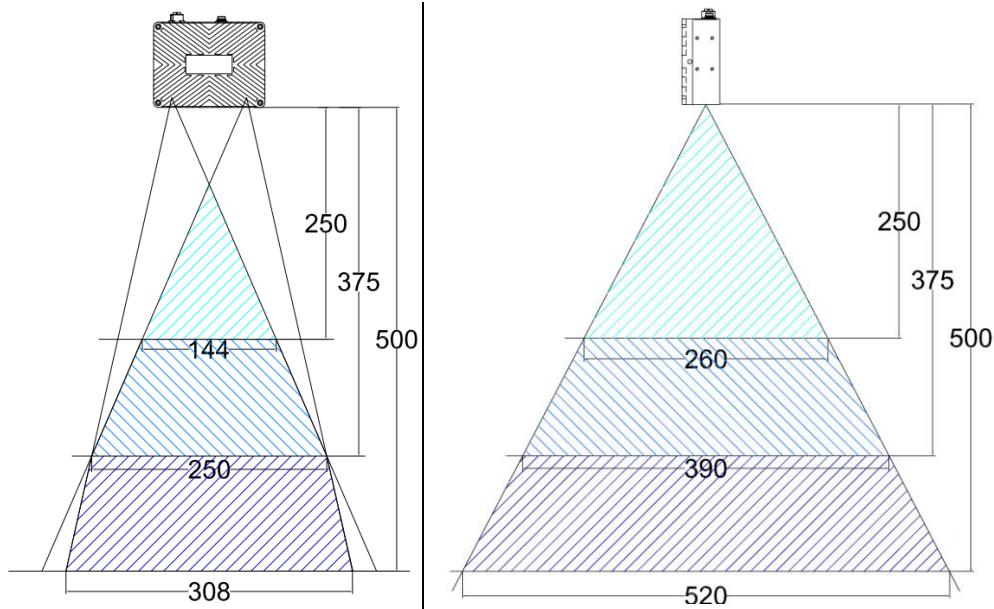
## 2. 3D 相机及安装

### 2.1 3D 相机

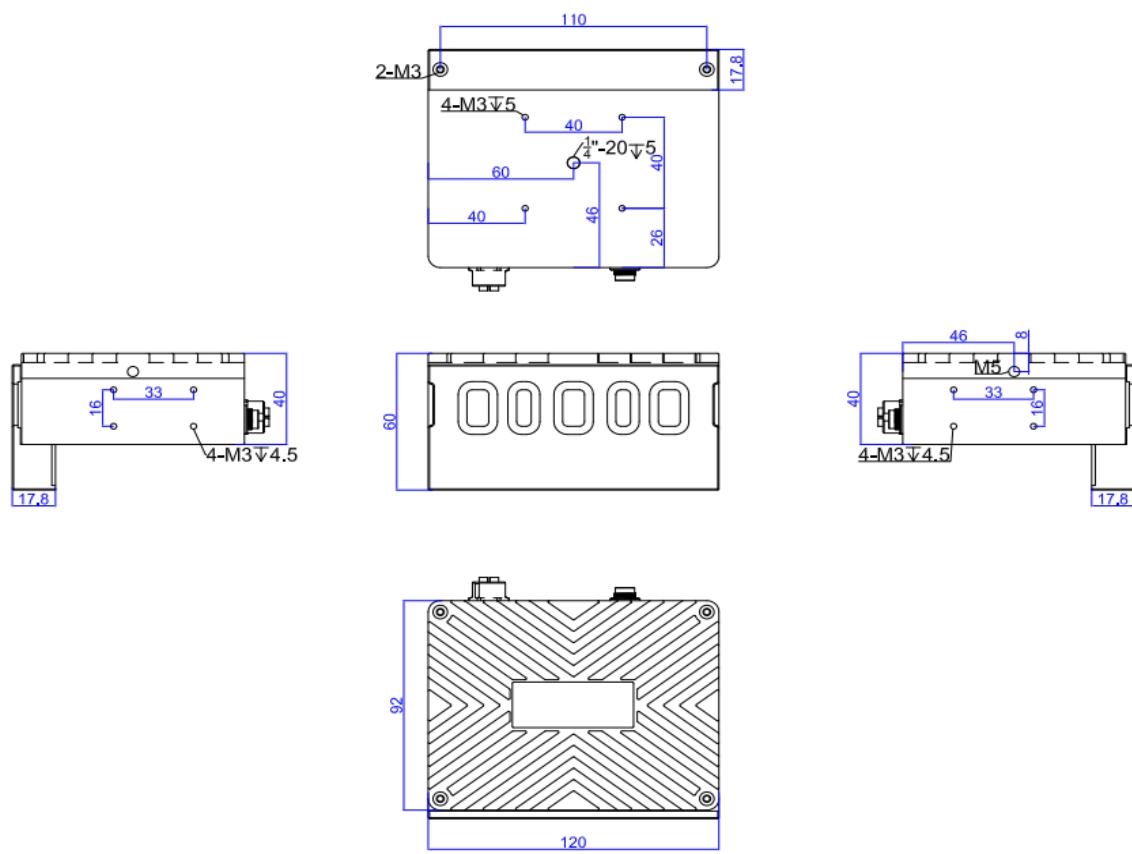
#### ● 基础参数表

型号	Tracer P1
三维模型	
结构尺寸 (mm)	120x92x40(单测头)
重量 (Kg)	0.5
原理	双目结构光
光源 <sup>1</sup>	840nm (标配)
最佳工作距离 (mm)	375±125
彩色图分辨率	无
数据输出	Depth
图像对齐	无
外部同步	软触发
供电接口	广濑六芯, 24VDC
数据接口 <sup>2</sup>	千兆以太网, 支持 POE 供电
整机平均功耗	5W
使用环境	仅室内
工作温度	-10°C ~ 45°C
储存温度	-20°C ~ 70°C
工作湿度	20% ~ 65% 无凝露
SDK 支持操作系统	Linux (Ubuntu18.04); Windows 8/10
注释	表中为标配激光器波段；波段可根据用户需求定制。 支持 IEEE 802.3af 标准 POE 供电。

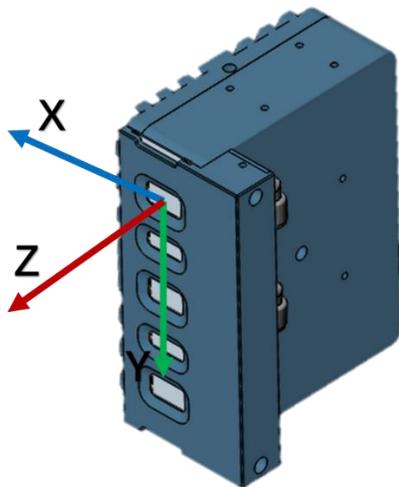
- 视场角



- 规格尺寸



- 相机坐标系

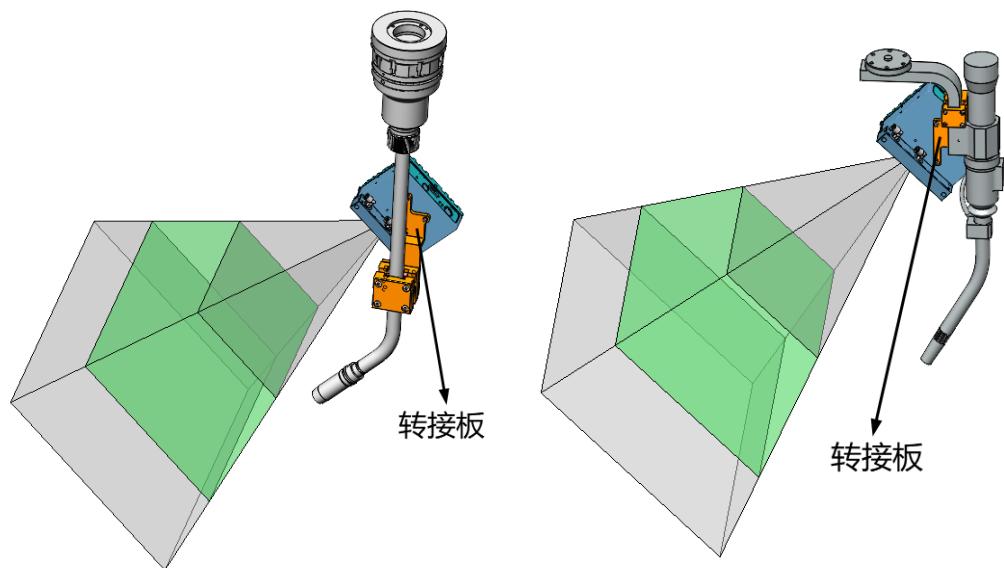


- 结构说明

- 1) 焊接套件由测头及气动挡板组成，在焊接作业时，需关闭气动挡板，防止焊渣损坏光学器件；
- 2) 可采用底部 4 颗 M4 螺丝固定，底部英制 1/4-20 螺丝固定，或两侧 4 颗 M4 螺丝固定，建议采用底部 4 颗 M4 螺丝固定；
- 3) 可通过风冷/水冷 M5 管道进行散热，具体视焊接现场工况而定；
- 4) 气动挡板需连接两根外径 4mm 进出气管，进出气方向可通过电磁阀控制；
- 5) 气动挡板前面装有防护玻璃面板，防止焊接时未关闭气动挡板时发生焊渣损毁光学器件，需定期检查是否有焊渣飞溅，视焊接工况可做 1 周~1 月的定期更换；

## 2.2 相机安装建议

3D 相机是通过转接板固定至焊枪，常规可夹持的位置为枪管或者焊枪支架等。

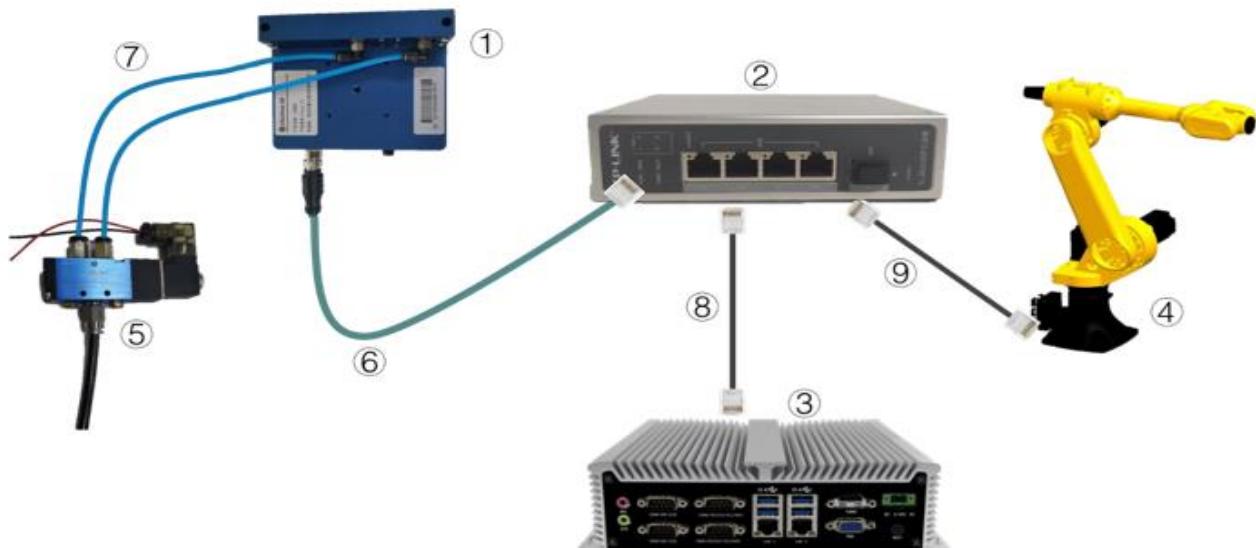


 **注意事项**

- 1) 转接板设计要保证 3D 相机的视场不被遮挡；
- 2) 转接板不与焊枪发生干涉；
- 3) 相机处于最佳工作距离时，焊枪、相机不与工件干涉；
- 4) 在焊接工作时，焊枪、相机不与工件干涉。

### 3. 设备连接

#### 3.1 硬件连接



① 3D 相机 ②PoE 交换机 ③工控机

④机器人 ⑤电磁阀 ⑥相机网线

⑦气管 ⑧⑨网线

#### ⚠ 注意事项

- 1) 相机防护板是气动装置，通过电磁阀控制；
- 2) 相机连接交换机时不要连接至 link 端口；
- 3) 电磁阀由机器人或者 PLC 控制；
- 4) 在焊接时一定要关闭气动防护挡板，防止造成相机损坏；
- 5) 工控机需要外接显示器和键盘鼠标。

### 3.2 网络配置

相机默认 IP 为 192.168.3.99，使用配套 TracerCalibration 软件可以对相机的 IP 进行修改，**修改后需要手动断电重启。**



工控机需要将 IP 设置为相机、机器人同一网段。

网络配置成功的确认方式为使用 cmd 的 ping 命令，如果成功收发数据，则表明连接正常，如果不正常，请检查网线、IP 设置。

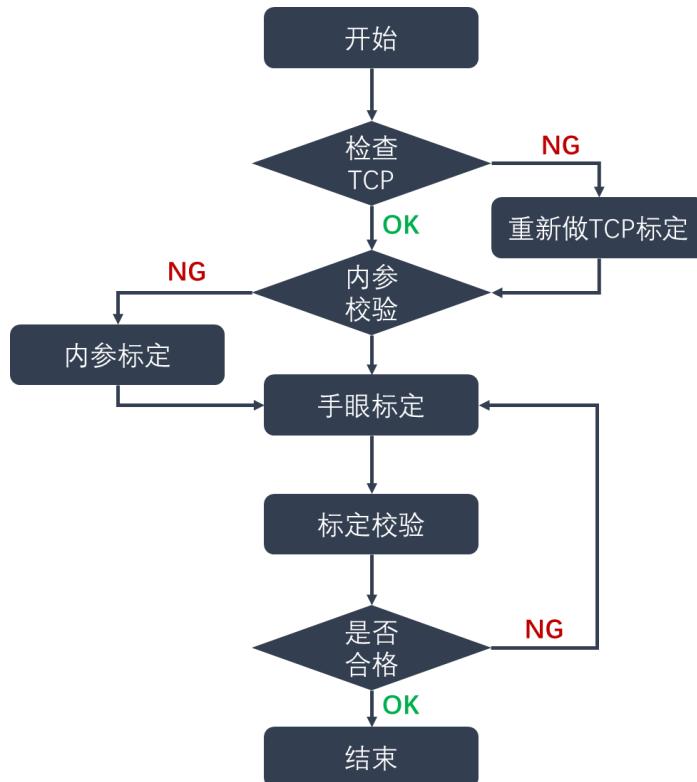


```
cmd | C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [版本 10.0.19042.928]
(c) Microsoft Corporation。保留所有权利。
C:\Users\ktb>PING 192.168.3.99
```

若 ping 命令执行正常，请检查防火墙是否已关闭。

## 4. 系统标定

### 4.1 系统标定流程

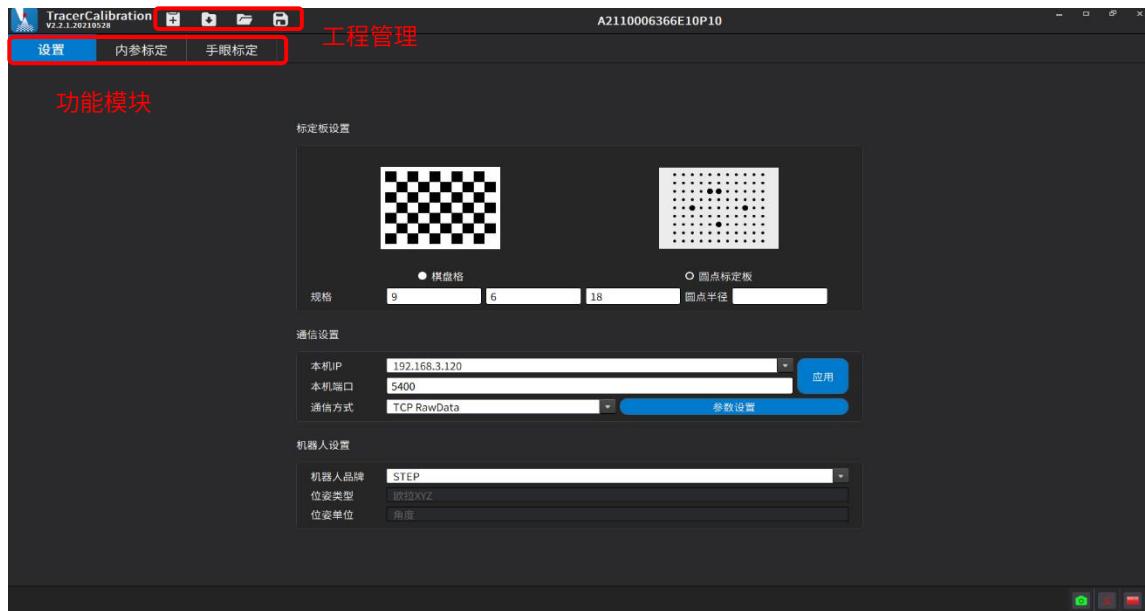


### 4.2 TracerCalibration 介绍

TracerCalibration 标定软件，可实现 3D 相机的内参标定与校验、3D 相机与机器人的手眼标定与校验。

软件操作分为手动操作以及通信控制模式，二者流程相同，区别在于通信模式可以通过通信进行机器人坐标的发送、标定过程的控制，推荐使用通信模式。

本教程以手动模式为例进行流程说明。



**工程新建：**新建一个工程文件，并指定保存路径与工程名

**工程导入：**导入之前生成的工程文件

**打开工作文件夹：**打开此工程对应的工程文件夹

**保存：**保存工程

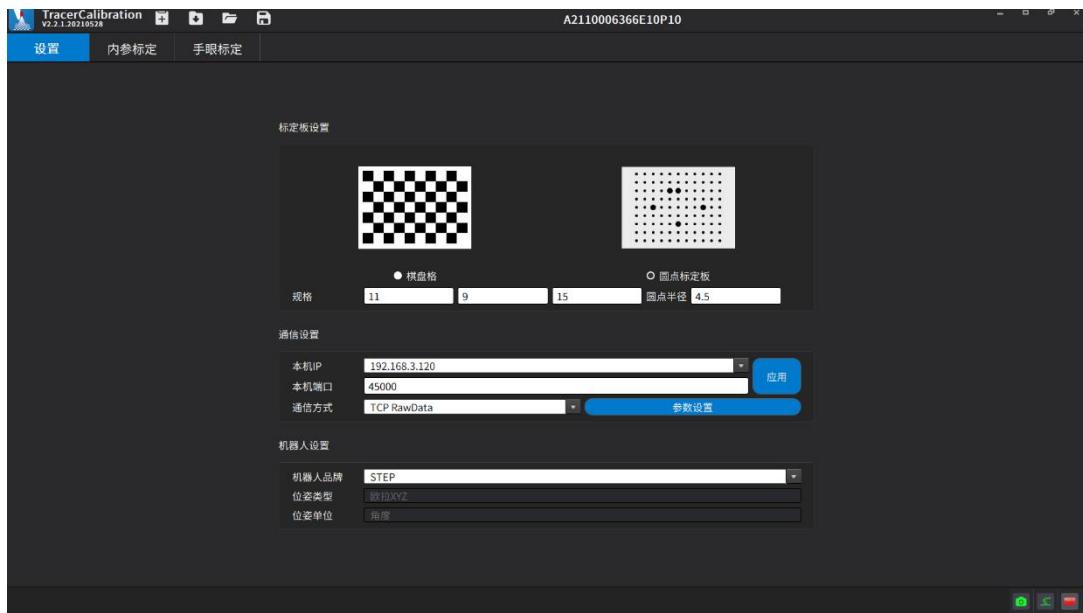
软件启动时会默认打开上一个在此电脑保存的工程，工程保存的内容包括所有参数配置。

序号	功能模块	描述
1	设置	标定设置、通讯设置、机器人设置
2	内参标定	进行相机内参标定以及内参结果校验
3	手眼标定	进行手眼标定以及标定结果校验

右下角 代表相机、机器人的连接状态。红色代表未连接，绿色代表已连接。

右下角 处，可以进行中英文切换。

## 4.3 标定设置



### ● 标定板设置

标定板	参数 1	参数 2	参数 3	R
棋盘格	长边方向角点数	短边方向角点数	单元格边长(mm)	/
圆点阵	长边方向圆点数	短边方向角点数	圆心距离(mm)	大圆半径(mm)

### ● 通信设置

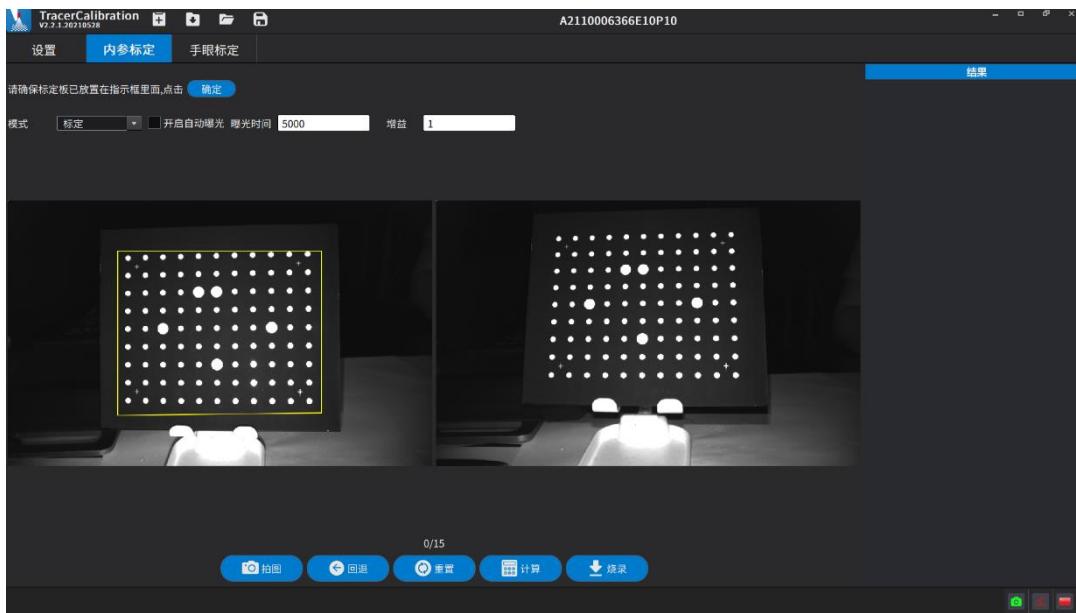
本机 IP：选择本机 TCP 服务器的 IP 地址

本机端口：设置本机端口号。

### ● 机器人设置

选择对应的机器人品牌，若无对应品牌，可选择同样坐标系统的机器人品牌，或咨询售后。

## 4.4 内参标定



内参标定是为了对相机进行标定校准，常规情况下标定周期为 1 次/月。

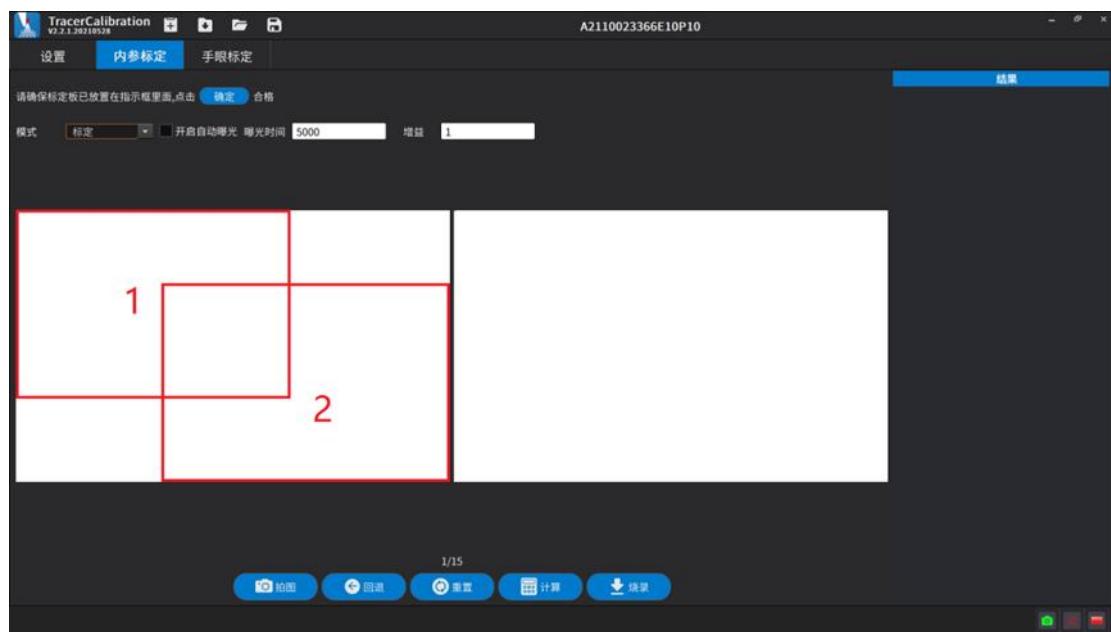
- STEP1：标定板放置

将标定板放置在合适的位置，移动机器人，使标定板完整进入黄色指示框内，机器人记录标定初始点。重复标定的时候，将机器人移动到初始点，摆放标定板，使标定板完整进入黄色指示框内就可以保证位置和第一次接近。

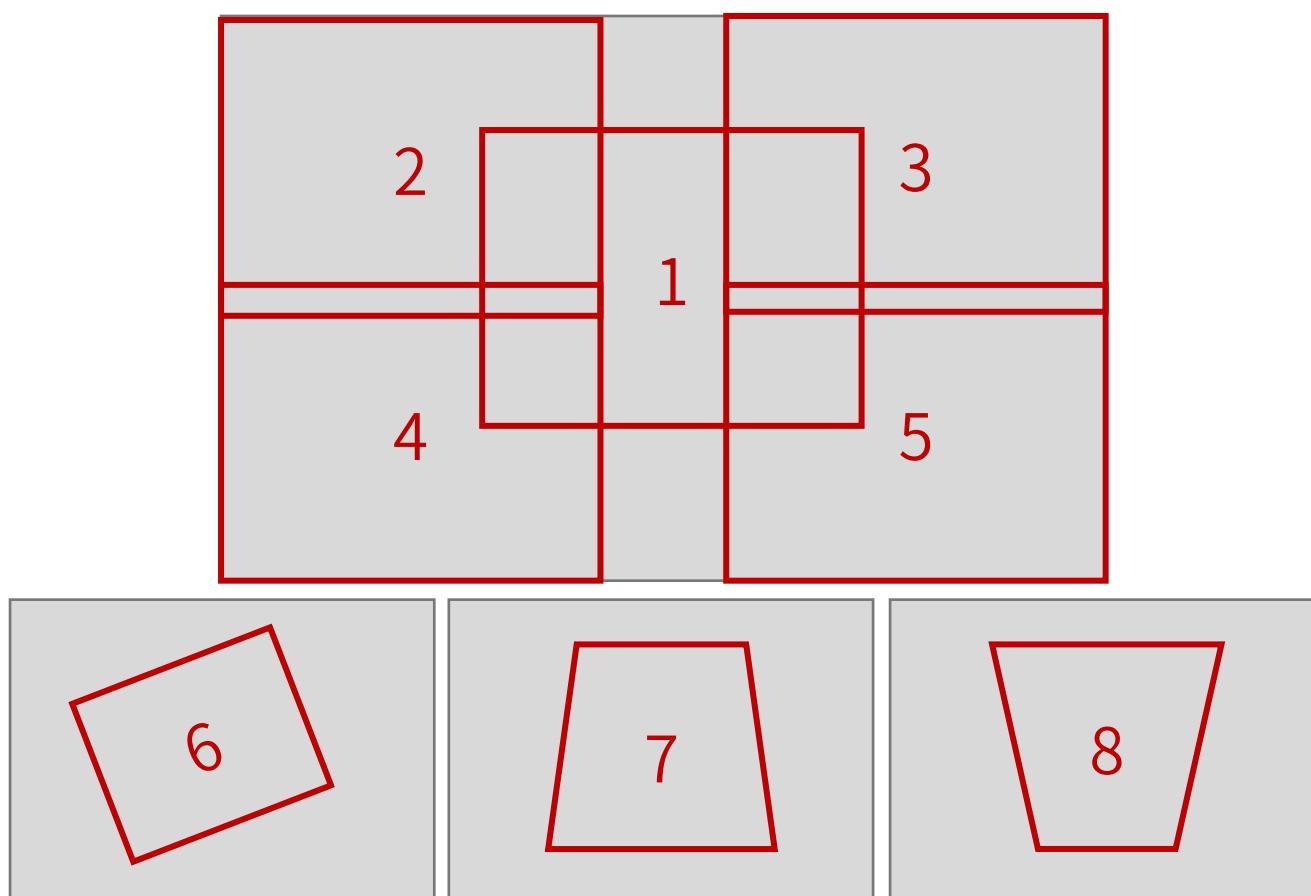
- STEP2：图像采集

点击  拍图，记录当前图像。移动机器人，更改拍照位姿重复操作步骤，总共录入 15 组数据。点击回退按钮，可删除最近一组参数；点击重置按钮，可重新开始图像采集。

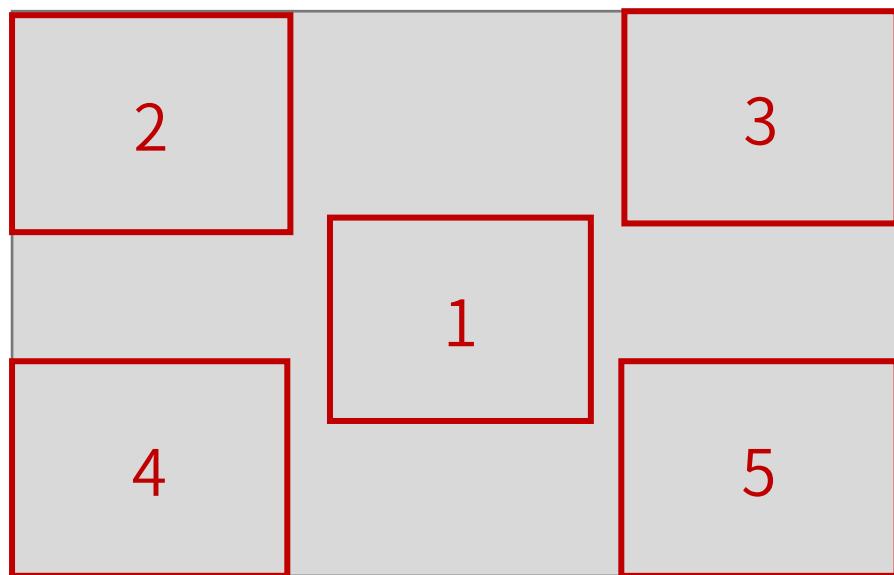
相机共需要拍摄 15 张不同位置的标定板图像进行标定计算，15 张图片分别在三个不同距离（250mm、375 mm、500 mm）拍照。根据下图所示位置分别拍摄张照片，在拍摄同时根据图像清晰度调整相机的曝光时间参数。



250mm 处拍照图示



375mm 处拍照图示

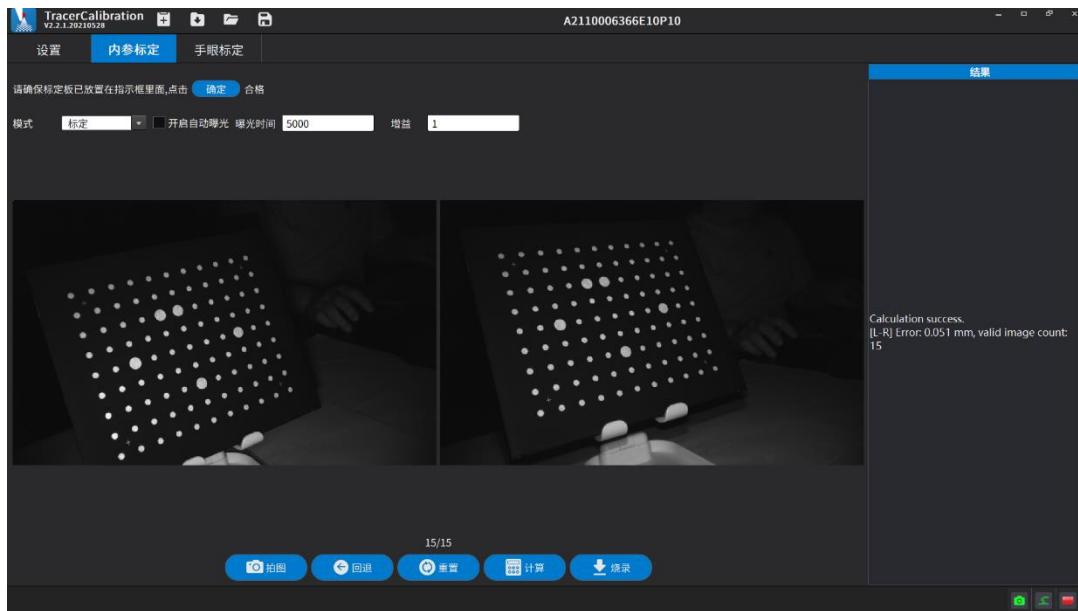


500mm 处拍照图示

#### ⚠ 注意事项

- 1) 标定板在使用前需要检查是否有脏污，使用后装回保护袋，防止磨损；
- 2) 棋盘格标定板不能超出视野范围，要全部进入视野范围；
- 3) 圆点阵标定板大圆不能超出视野范围，要全部进入视野范围；
- 4) 控制拍照距离，画幅占比需要大于整个视野的 1/2
- 5) 拍照角度不能太大，应当小于 30°。

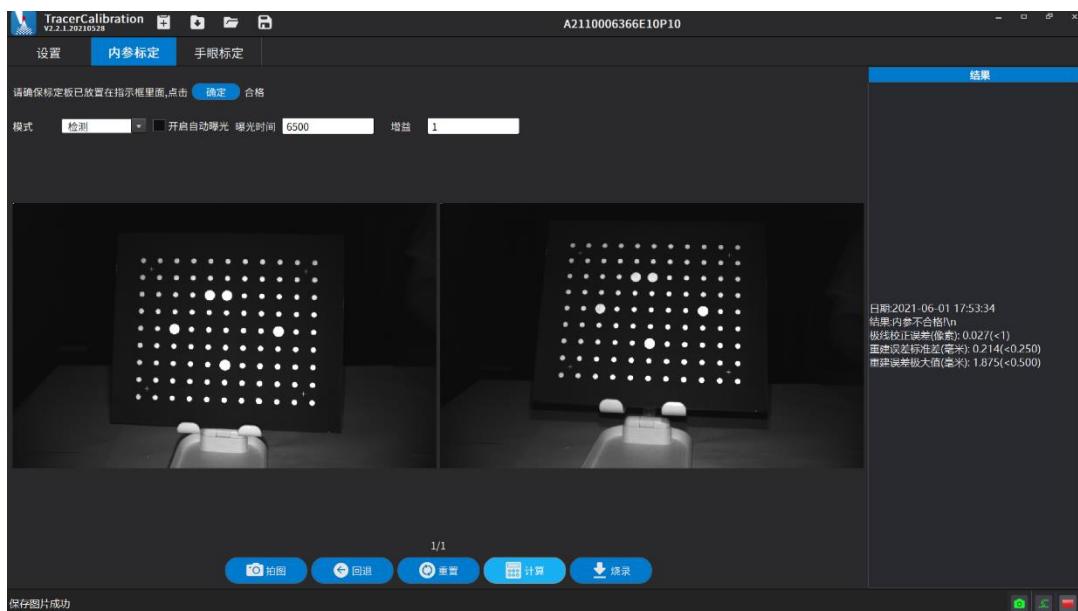
- STEP3：内参计算



点击  进行内参计算，若结果为成功，则点击  进行内参烧录。

**⚠ 注意事项：**内参烧录过程中，相机会掉线重启，等待过程中不要关闭软件。

#### 4.5 内参校验



内参校验指的是检查相机的参数是否合格，不合格需要进行内参标定。

- STEP1：图像采集

将标定板放置视野中间，然后点击  拍图

- STEP2：校验计算

点击  计算

\*通讯模式请查看 [A.2.3 内参标定](#)

#### 4.6 机器人 TCP 标定

机器人 TCP（工具中心点 Tool Center Point）标定方式详见对应机器人的操作说明书，标定的精度对系统综合误差的影响非常大，因此 TCP 标定有以下几点注意事项：

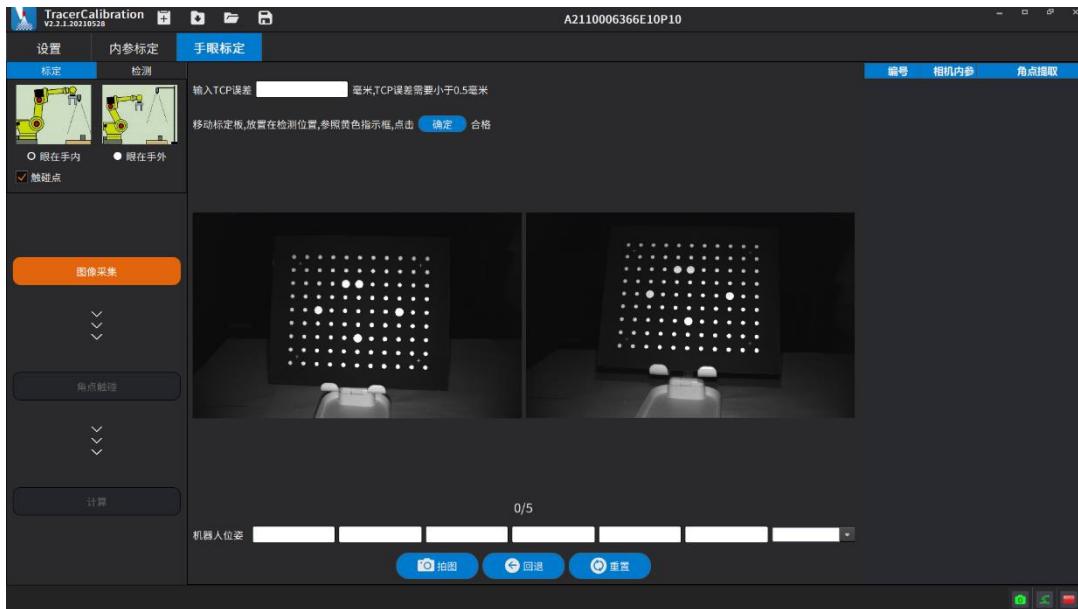
- 1) TCP 尖点距离焊枪保护罩 20mm 左右；
- 2) 需要选择外部尖点或者与送丝管分离的焊丝，防止标定过程中机器人运动导致焊丝长度发生变化；
- 3) 焊丝的伸出长度要预先测量，焊丝发生变化后可以恢复为标定长度；
- 4) 标定过程中，使得六轴产生比较大的变化；
- 5) 标定平均误差应小于 0.5mm，高精度场景要求 0.3mm。

#### 4.7 手眼标定

手眼标定是为了确定机器人与相机的坐标系关系，标定结果以文件的方式进行输出。在以下几种情况下必须进行手眼标定：

- 1) 首次安装；
- 2) 相机进行了内参标定；
- 3) 机器人进行了 TCP 标定；

4) 机器人与相机的位置关系发生了变化, 例如重新安装、松动等。



- STEP1：标定设置

选择“眼在手上”，选择“触碰点”，提高标定精度。

- STEP2：标定板放置

同内参标定 STEP1。

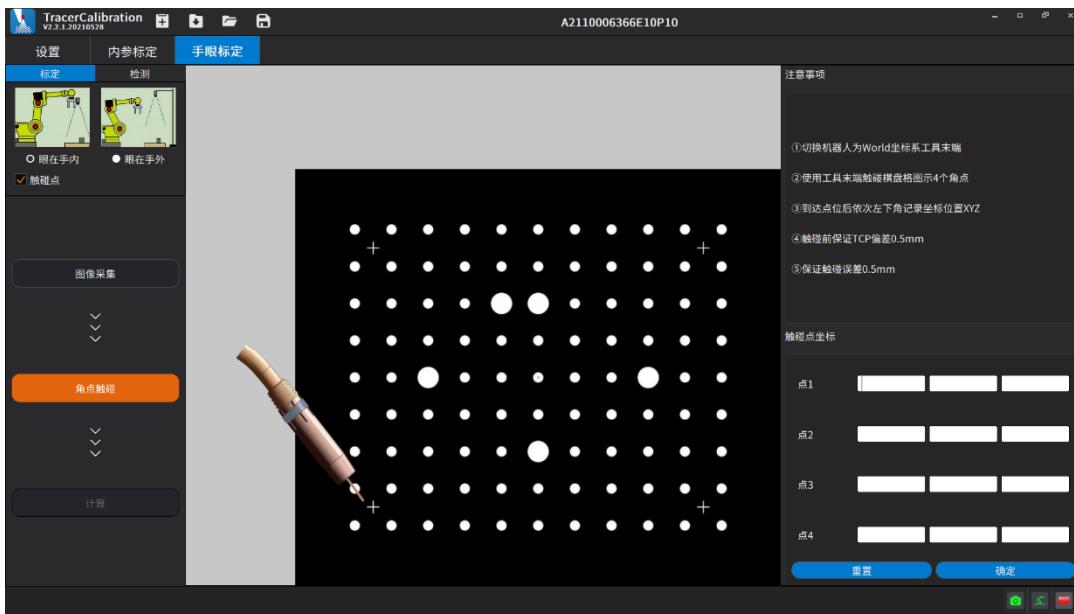
输入机器人 TCP 误差，点击 **确定**。

- STEP3：图像采集

手动录入当前拍照位姿数据，然后点击 **拍图**。更改拍照位姿，重复操作步骤，总共录入 5 组数据。点击回退按钮，删除最近一组参数；点击重置按钮，可重新开始图像采集。

**注意事项与内参标定相同。**

- STEP4：角点触碰



点击左侧【角点触碰】，进入角点触碰界面。

将机器人 TCP 移动到标定板如图所示的角点 1 处，记录 X\Y\Z 坐标。同样地按顺序将机器人 TCP 移动到其他三个触碰角点，并记录坐标。

全部录入完成后，点击确认按钮。

#### ● STEP4：计算



点击左侧【计算】，再点击  按钮完成计算，并显示计算结果。

点击  导出，将手眼标定结果文件导出。

点击  重新标定，会重新进入标定流程。

\*通讯模式请查看 [A.2.4 手眼标定及校验](#)

#### 注意事项

- 1) 机器人 TCP 精度是标定的关键，会影响手眼误差、走位误差，标定平均误差要求小于 0.5mm，高精度场景要求 0.3mm；
- 2) 通讯模式能够避免手动录入坐标的风险，且高效便捷，优先推荐；
- 3) 标定板位置尽量摆放在机器人工作区域，指示框是为了保证放置位置与上一次相同，则机器人拍照点位和触碰的粗定位点位不需要调整；
- 4) 图像采集时需要保证标定板占 50% 的画幅，机器人的 6 个位姿参数均需要变化，相机平面和标定板的角度不要超过 30°，拍照姿态使用和实际工作的拍照姿态效果更佳；
- 5) 触碰的时候不要造成焊丝变化和标定板移动，触碰时使用焊接姿态效果更佳；
- 6) 手眼标定误差尽量小于 0.5mm，精度要求高的场景小于 0.3mm。

## 4.8 手眼标定校验



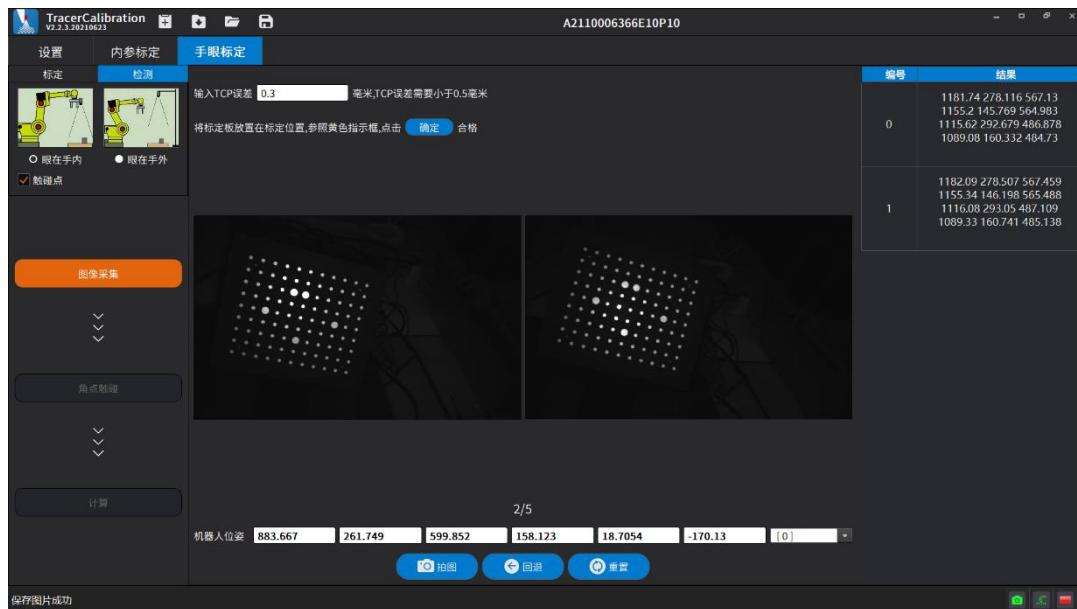
选择【检测】，切换为检测模式。

手眼标定的校验方式为，更换标定板的位置（常规的方式为放在标定位置的对角处），同

样执行一遍【图像采集】以及【角点触碰】。

### ● STEP1：图像采集

图像采集过程中，会计算出角点的坐标值。

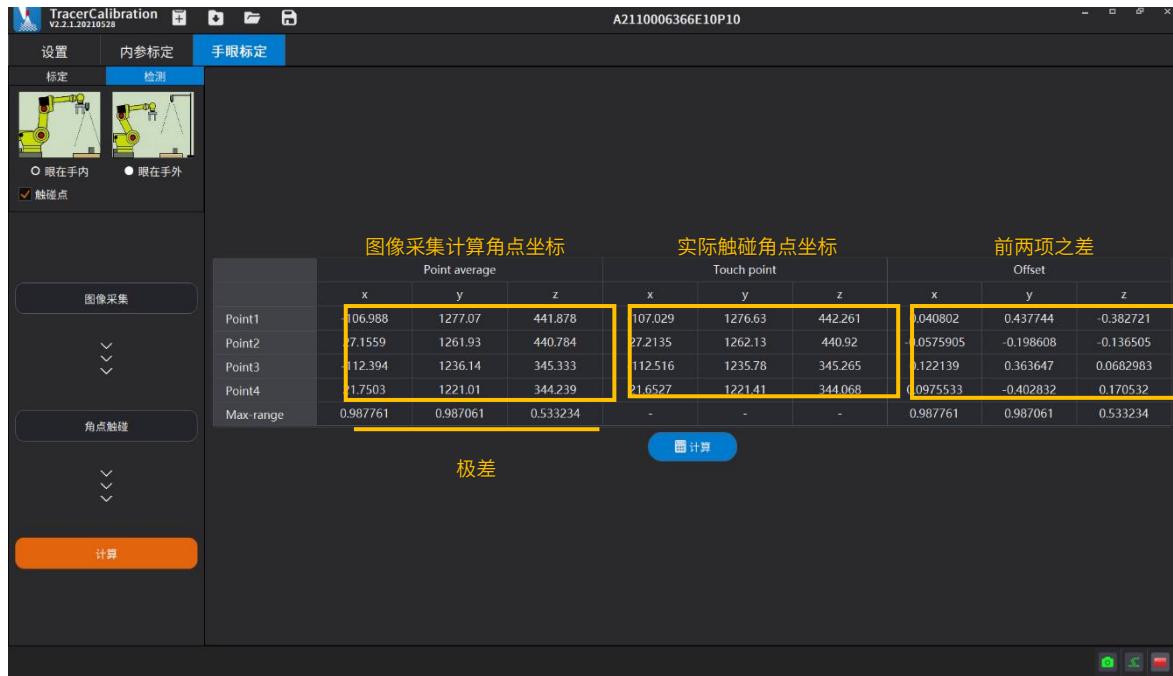


### ● STEP2：角点触碰

与标定过程相同。

### ● STEP3：计算

点击  计算，得到检测结果。



当图像采集的极差 (Max-range) <1mm, 图像采集与实际触碰的差值<1mm, 代表精度合格。

\*通讯模式请查看 [A.2.4 手眼标定及校验](#)

## 5. TracerStudio 软件操作

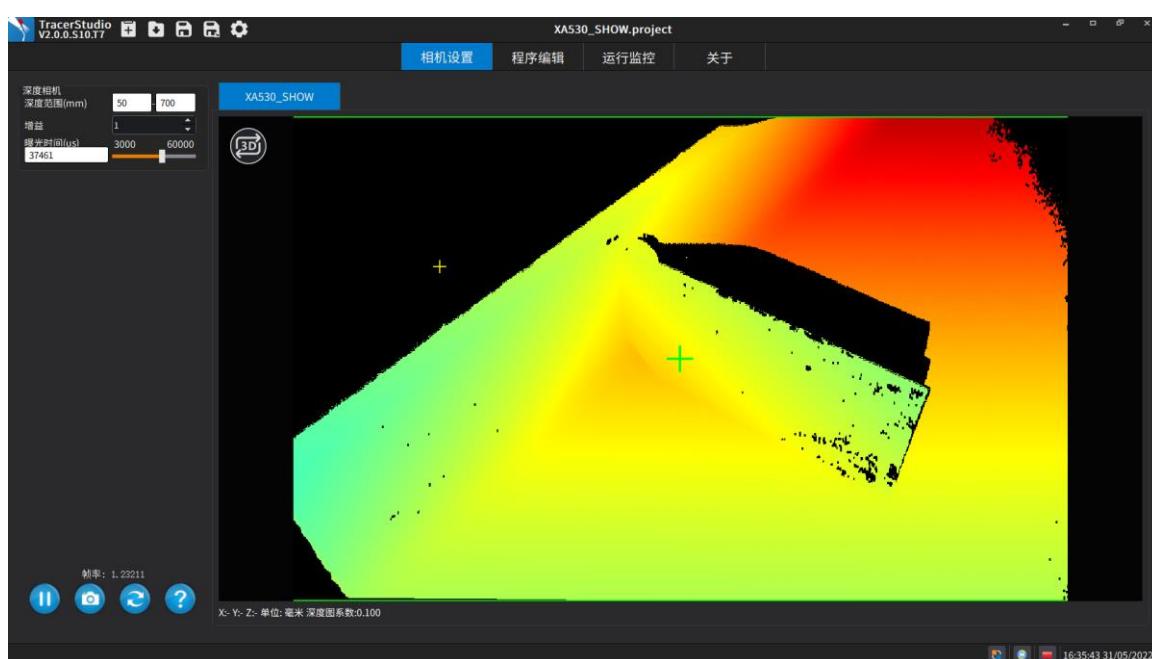
### 5.1 软件介绍

TracerStudio 视觉软件，是实现焊接视觉业务的主要载体。负责相机的控制和数据获取、图像处理及业务执行、机器人连接与通信。

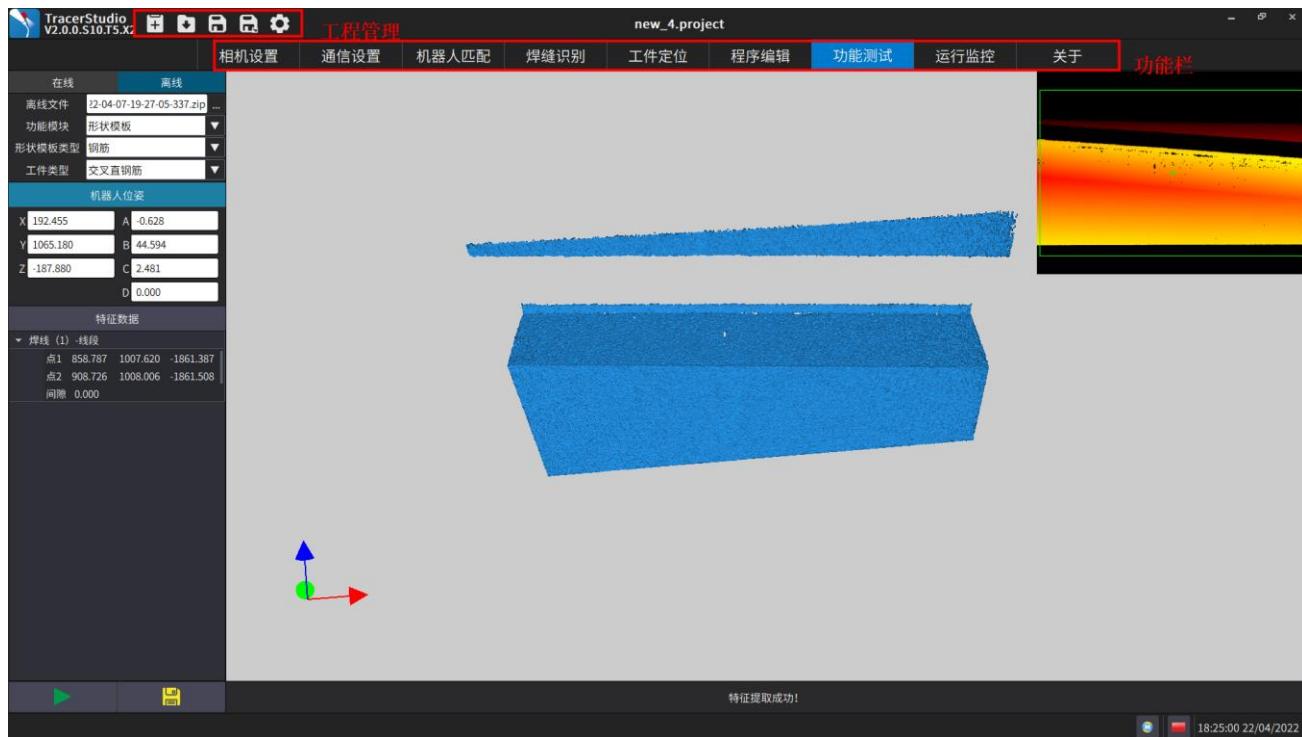
 工控机配置要求：win10 + 8G 内存 + 双核 2.7GHz (Intel i7-7500U 或者更快)。

### 5.2 用户界面

用户界面有两种模式，一种生产模式，一种高级模式。点击模式切换按钮 ，可以对两种模式进行切换。切换到高级模式时，需要录入登录密码【chishine3d】。



图\_生产模式



图\_高级模式

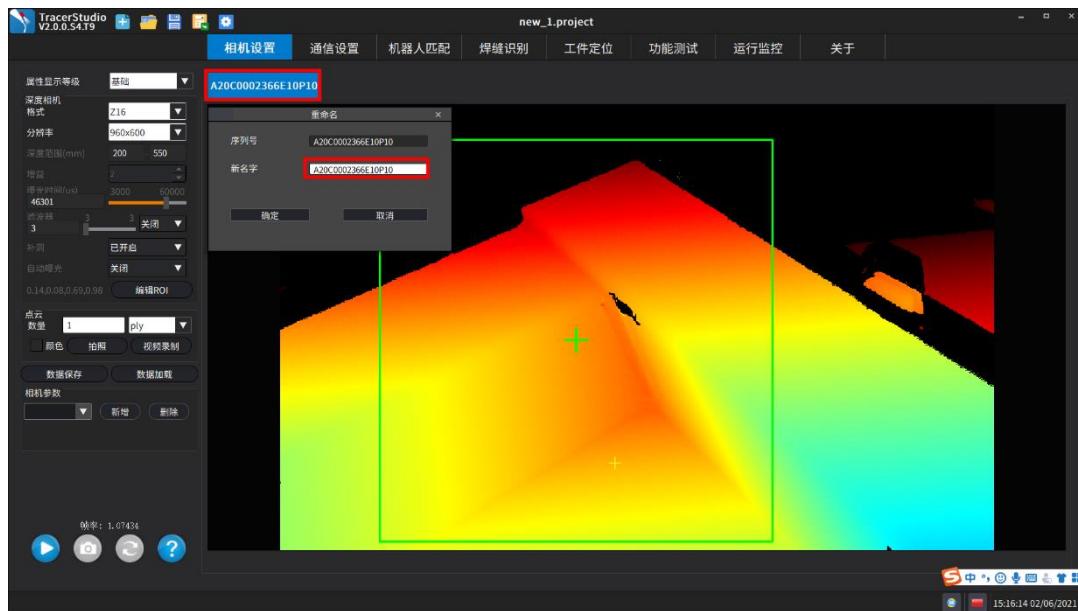
注意事项：软件启动时会默认打开最近的工程，工程保存的内容包括所有参数配置。

### 5.3 功能模块

序号	功能模块	描述
1	相机设置	设置相机参数、命名等
2	通信设置	设置本机通信地址
3	机器人匹配	机器人-相机配对，设置对应机器人 IP、手眼标定矩阵、通信方式等
4	功能测试	功能手动单元测试
5	运行监控	工作状态下实际运行时的监控界面
6	程序编辑	钢构件：机器人程序一键生成界面

### 5.4 相机设置

#### 5.4.1 重命名



右击相机的名字，可以对相机进行重命名。

#### 5.4.2 参数说明

3D 相机的主要参数如表所示

表 5.1 参数说明表

序号	参数	描述	参考值
1	深度范围	图像采集的距离范围	根据拍摄物体，尽可能缩小范围
2	增益	信号放大的比例	<=3 效果最佳
3	曝光时间	相机拍照时的曝光时间	根据拍摄物体调整
4	ROI 区域	图像处理的区域范围	根据工件范围鼠标框选，尽可能小
5	滤波器	数据滤波	点云噪声较大时选择： 平滑、中值
6	补洞	空洞填充	点云小空洞较多时选择： 打开

备注：其他参数保持默认值，需要专业技术人员进行修改。

#### 5.4.3 多组参数设置

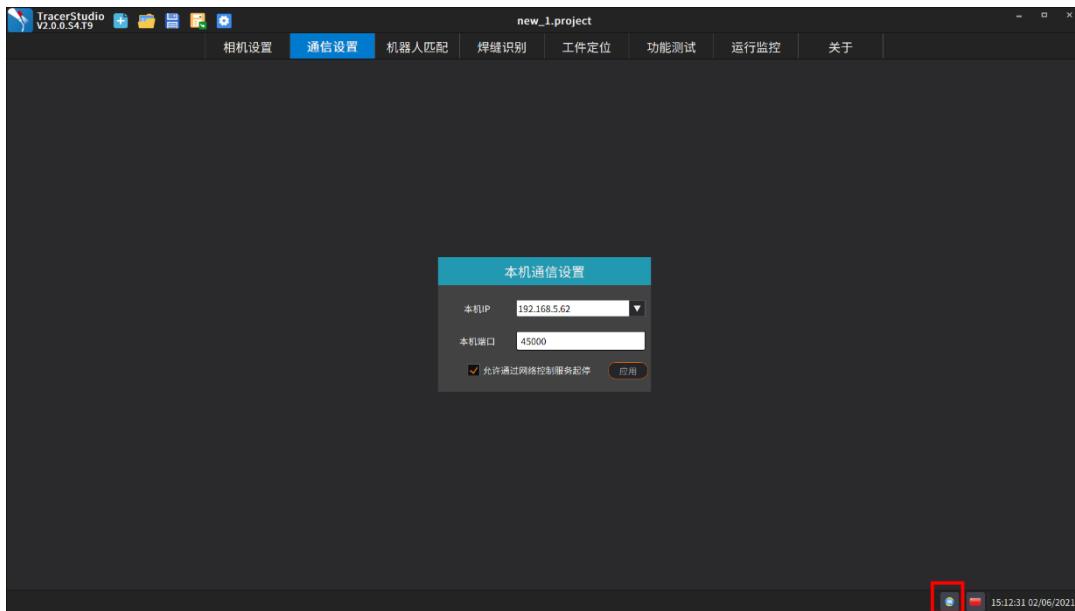
TracerStudio 支持多组参数设置，具体操作如下：



### 使用说明：

- 1) 下拉选框可以选择参数组号；
- 2) 点击【新增】可以新增一组参数，点击【删除】会删除当前参数组；
- 3) 参数组之间深度范围、增益、曝光时间、ROI 不同，其他参数共享；
- 4) 右侧预览界面显示的为当前选中组号；
- 5) 软件在【功能测试】时，使用的是当前选中组号；
- 6) 软件在【运行监控】时，组号为空时使用的是默认组号，不为空时为 1 号；
- 7) 在运行过程中可以切换参数组号，具体请查看 [A.2.2 设置相机参数](#)。

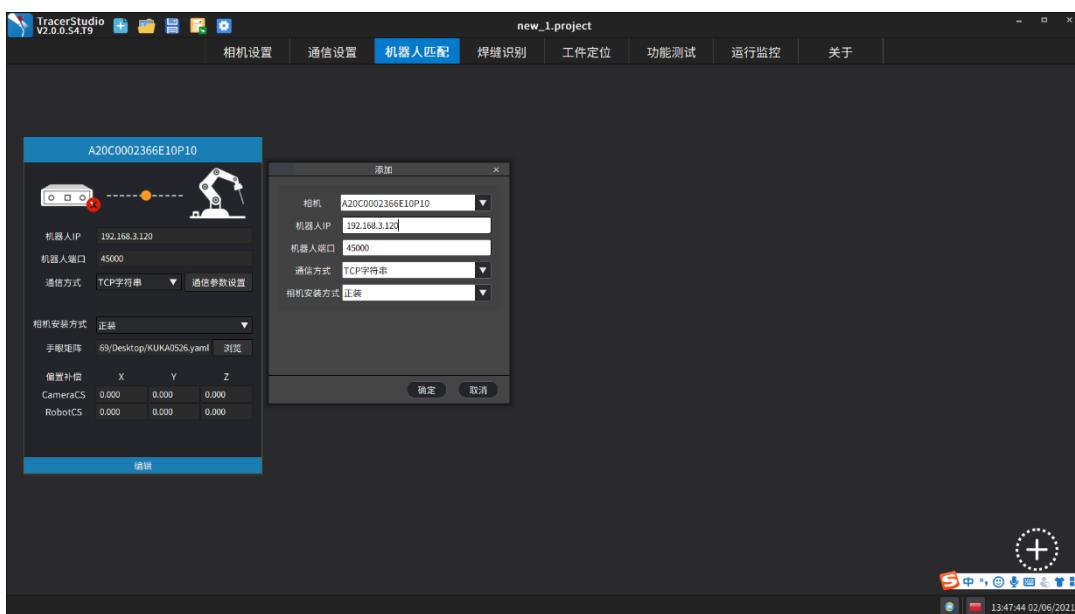
## 5.5 通信设置



选择本机（TracerStudio，并非相机或机器人）IP 地址，设置端口。当修改参数的时候，需要点击右下角的 ，重新启动通信。

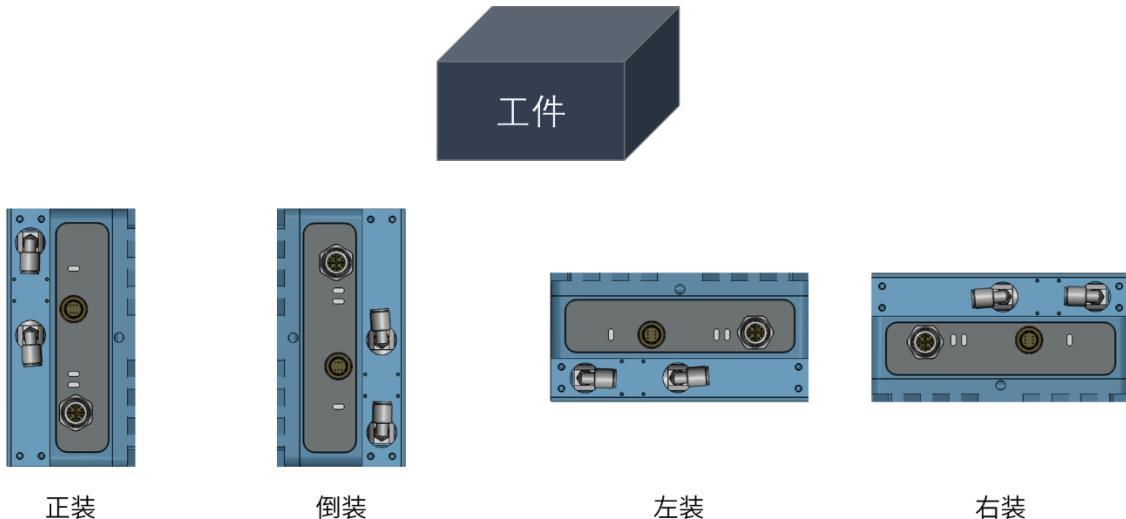
## 5.6 机器人匹配

### 5.6.1 添加机器人信息



选择相机，配置机器人 IP 以及端口号，选择相应的通信方式。

选择相机的安装方式。



**⚠ 注意：** 相机的安装方式是相对于工件而言的。

### 5.6.2 通信方式设置



通讯方式指的是应用层协议的数据表达方式，有以下几种形式

- 1) TCP 字符串
- 2) TCP 原始数据
- 3) Modbus TCP: 协议参考 TCP 原始数据
- 4) Modbus RTU: 协议参考 TCP 原始数据

### ● 原始数据设置

序号	参数	详细
1	字节序	小端 (默认) \ 大端
2	整数表达形式	Int32 (4bytes 默认) \ Int16 (2bytes) \ Float32 (4bytes)
3	后缀	默认为空, 非空示例: 0D 0A

备注：整数表达形式选项包含 float 是为了适配部分机器人解码的便捷性，例如 5→5.0

### ● Modbus 设置



序号	参数	详细
1	从站 ID	
2	浮点数据类型	AB \ BA \ ABCD \ BADC \ CDAB \ DCBA
3	浮点表达形式	浮点型、整形

4	整型数据类型	AB \ BA
5	读取标志地址	视觉轮询机器人消息标志位的寄存器地址
6	读取起始地址	视觉读取机器人消息寄存器起始地址
7	当前位姿地址	机器人当前位姿寄存器地址
8	位姿读取长度	根据实际情况填写
9	浮点读取缩放	浮点表达形式为整型时的缩放系数
10	写入标志地址	机器人轮询视觉消息标志位的寄存器地址
11	写入起始地址	视觉写入机器人消息寄存器起始地址
12	浮点写入缩放	浮点表达形式为整型时的缩放系数

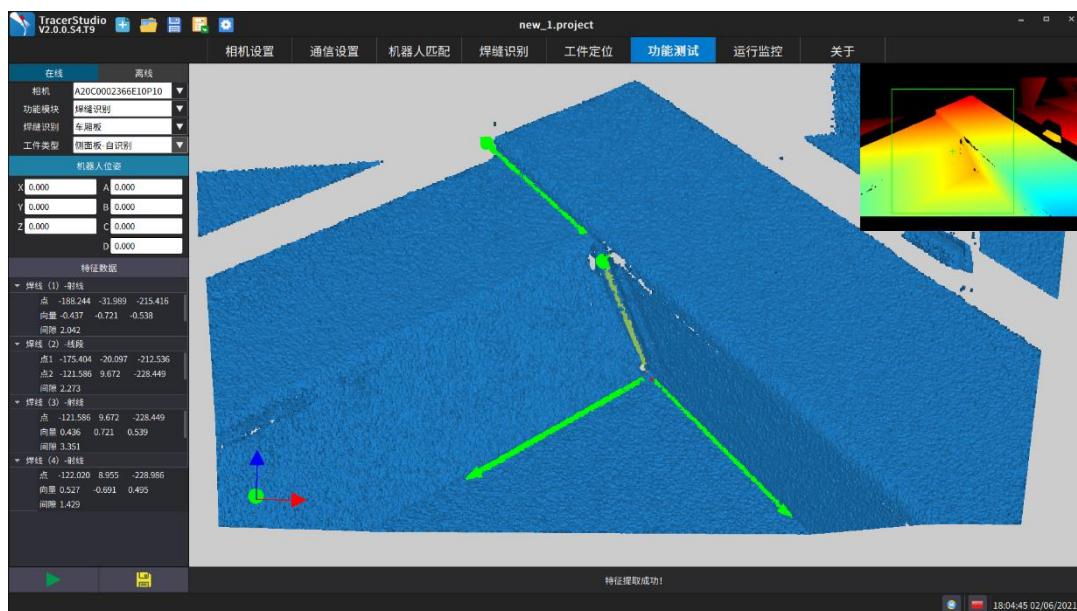
### 5.6.3 配置手眼矩阵

点击【浏览】，选择 [4.6 手眼标定导出的文件 handeye\\_result.yaml](#)，并点击【确定】。

## 5.7 功能测试

功能测试可以对软件的全部功能进行手动测试，分为在线模式和离线模式。执行功能测试之前必须先进行机器人匹配。

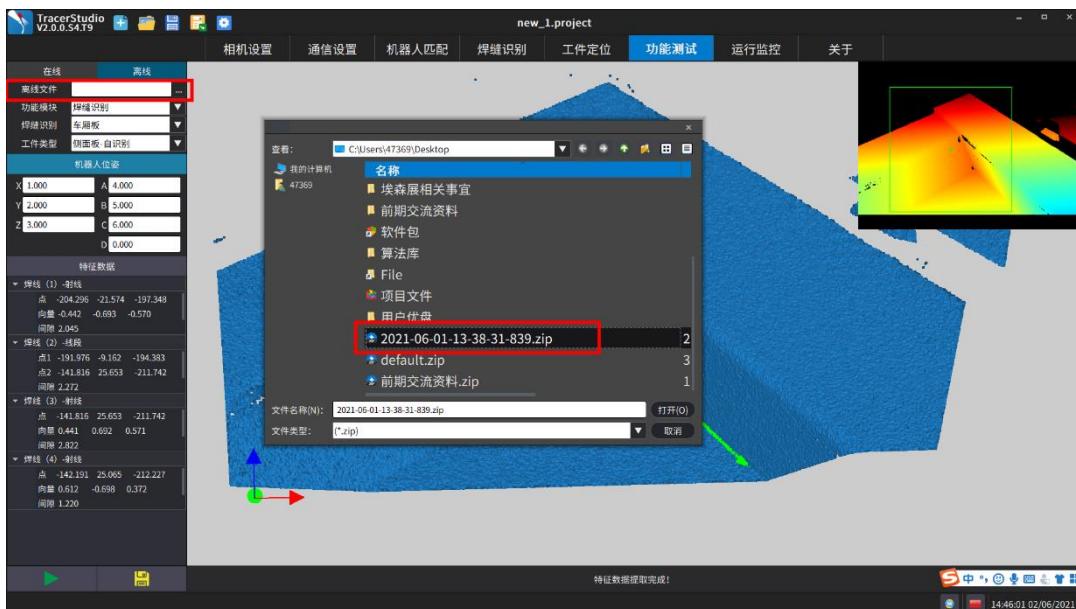
### 5.7.1 在线实时模式



在线实时模式指的使用相机实时采集的数据进行测试，具体操作如下：

- 1) 选项：选择对应的【相机】、【功能模块】，以及相应的设置项
- 2) 测试：录入机器人位姿（默认为 0），点击左下角 
- 3) 保存：点击左下角 ，指定保存路径，保存测试的数据。

## 5.7.2 离线计算模式



离线计算模式指的是导入在线模式所保存的文件，以及软件自动保存的问题件进行测试，

用于远程定位问题，具体操作如下：

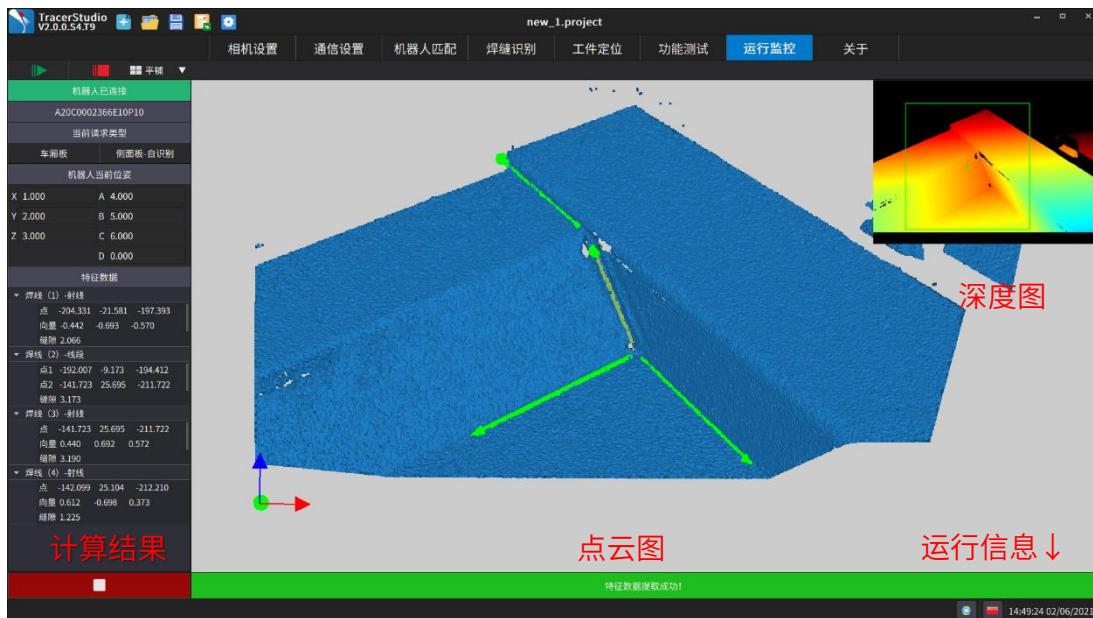
- 1) 指定离线文件路径，选择正确的测试数据包；
- 2) 点击左下角 ，进行离线模式下的功能测试。

## 5.8 运行监控

运行监控是通讯模式下的监控界面，显示的内容与功能测试相同。

运行监控界面可以同时显示所有接入的相机。

在运行监控界面启动服务后，相机切换为触发模式，此时相机界面图像停止，软件开始接收通信请求，执行相关业务。同时，服务的启停也可以通过通信来控制，请查看 [6.3.1 视觉控制](#)。



界面按钮说明：

：启动服务

：停止服务

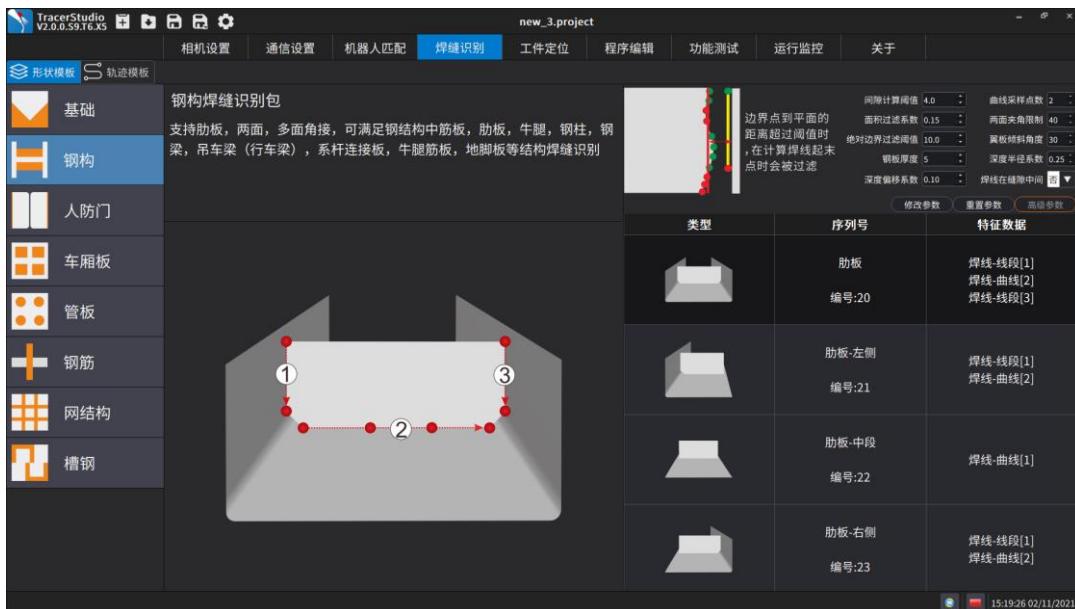
：全部启动，所有未运行服务启动

：全部停止，所有已运行服务停止

 平铺 ：显示模式的切换 平铺 \ 页签

## 6. 焊缝识别

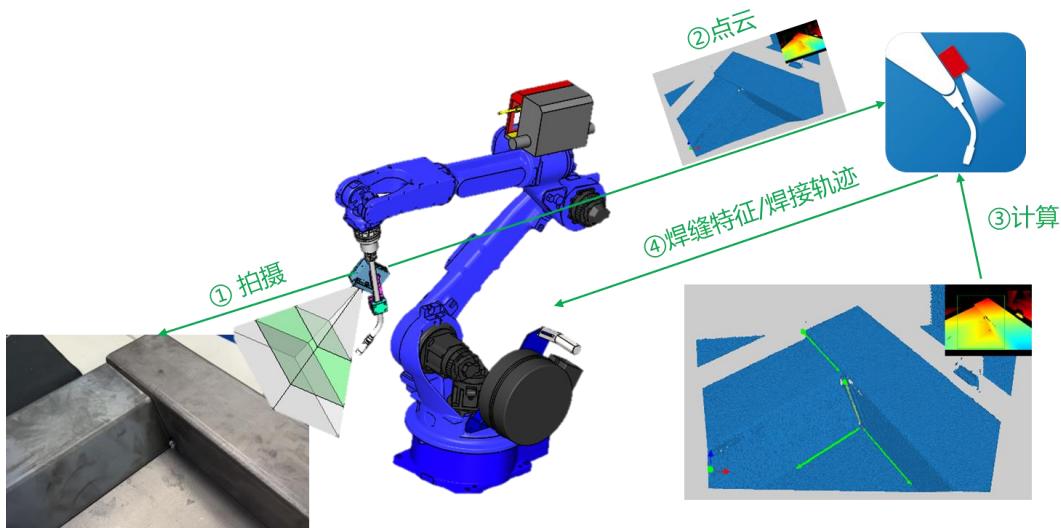
### 6.1 功能介绍



焊缝识别功能是利用 3D 相机获取工件的 3D 点云，通过焊缝提取算法，识别相应的焊缝特征，计算点位坐标，发送至机器人。可有效解决工件的偏位问题，示教复杂的问题。

焊缝识别有两个主要功能：

- 1) 焊缝特征识别：通过 3D 点云以及焊缝识别包中的形状模板（在通信消息中指定），计算得出焊线坐标，也即焊接轨迹的起末点  $(x,y,z)$  以及线上点。
- 2) 焊接轨迹计算：该功能是上述功能的升级版，可以计算得到焊接轨迹，包括焊接起末点、线上点、过渡点的位姿  $(x,y,z,a,b,c)$ ，计算生成的路径发送至机器人后，解析完成可直接运行。



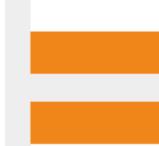
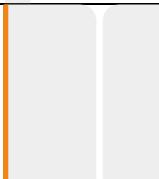
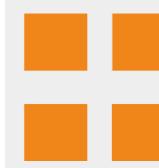
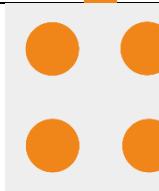
运行状态的流程如图所示，具体的：

- 1) 机器人运行至拍照位置；
- 2) 机器人向视觉发送请求；
- 3) 视觉执行拍照→计算→数据发送；
- 4) 机器人执行焊接。

### 6.1.1 形状模板

焊缝识别算法是基于模板形状的，运行时，消息内容中需要指定工件类型（具体请查看通讯协议），实际使用中，只需要被拍摄工件符合指定的工件形状即可，对尺寸、角度无要求。工件类型是通过焊缝识别包的形式呈现的，目前支持的包见下表。

焊缝识别包	功能描述
	<p>基础形状焊缝识别包 支持搭接、内角接、外角接等基础形状的焊缝识别</p>

	<b>钢构焊缝识别包</b> 支持肋板、两面、多面角接，可满足钢结构中筋板、肋板、牛腿、钢柱、钢梁、吊车梁（行车梁）、系杆连接板、牛腿筋板、地脚板等结构的焊缝识别
	<b>人防门焊缝识别包</b> 支持人防门工字钢骨架焊缝识别
	<b>车厢板缝识别包</b> 支持自卸车箱板焊缝识别
	<b>钢筋焊缝识别包</b> 支持交叉直-直钢筋、交叉折弯-直钢筋焊缝识别
	<b>管板焊缝识别包</b> 支持管板圆形孔、腰形孔焊缝识别

## ● 焊缝识别参数设置

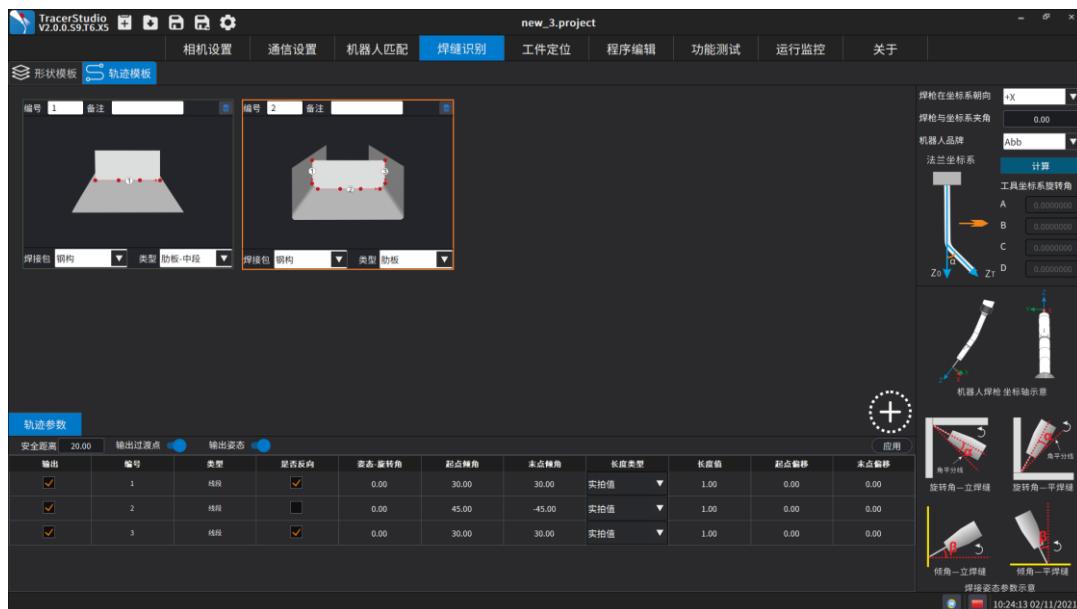


1) 焊缝识别包的每个工件类型的参数可独立设置，修改参数后点击 **应用**；当需要将

当前参数应用至当前焊缝识别包所有类型时，点击 **全部应用**；

- 2) 参数分为基础参数和高级参数，高级参数是对原始数据的预处理，基础参数是对计算目标结果的调整以及部分几何参数的配置；
- 3) 每个焊缝识别包的参数不同，内容包含预处理参数、工件几何形状相关的参数。

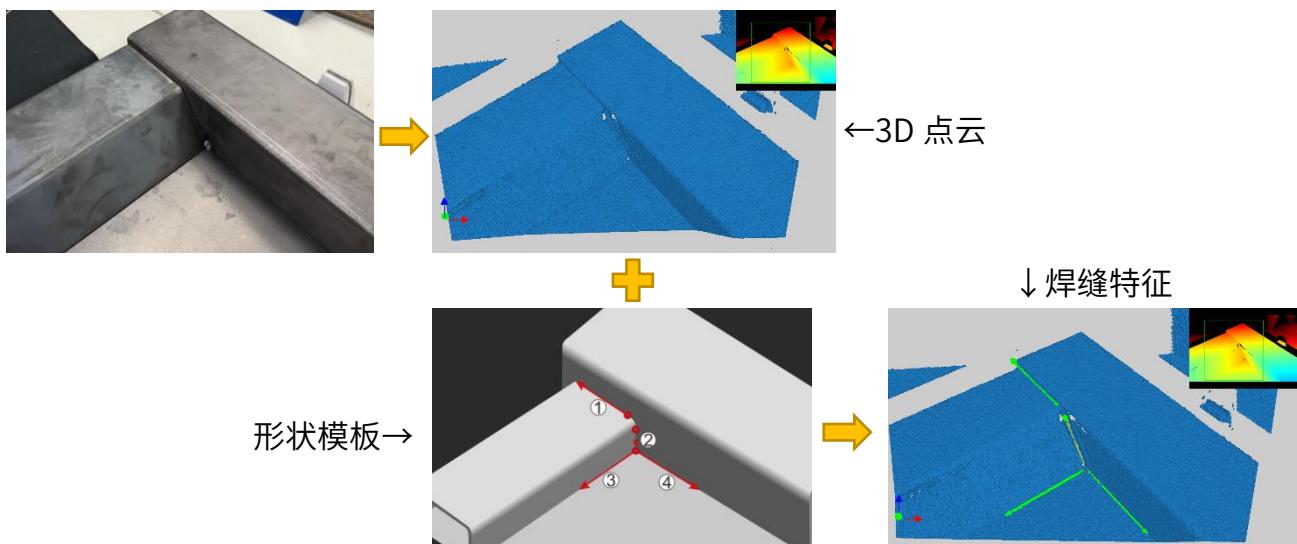
### 6.1.2 轨迹模板



轨迹模板是基于形状模板进行焊机轨迹的计算， 使用轨迹模板， 得到的是机器人可以直接执行的焊接轨迹， 无需对数据进行后处理， 也无需进行焊接轨迹的预先示教。

## 6.2 焊缝特征识别

### 6.2.1 工作流程



\*注：通信协议请查看 [A.2.5 焊缝特征识别。](#)

### 6.2.2 工作模式

- 单步模式

单步模式工作方式为机器人发送一次请求，视觉进行识别后返回数据，机器人进行焊接。

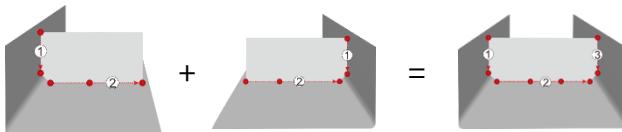
该模式最常用，被拍照的区域需要被相机的视场覆盖。

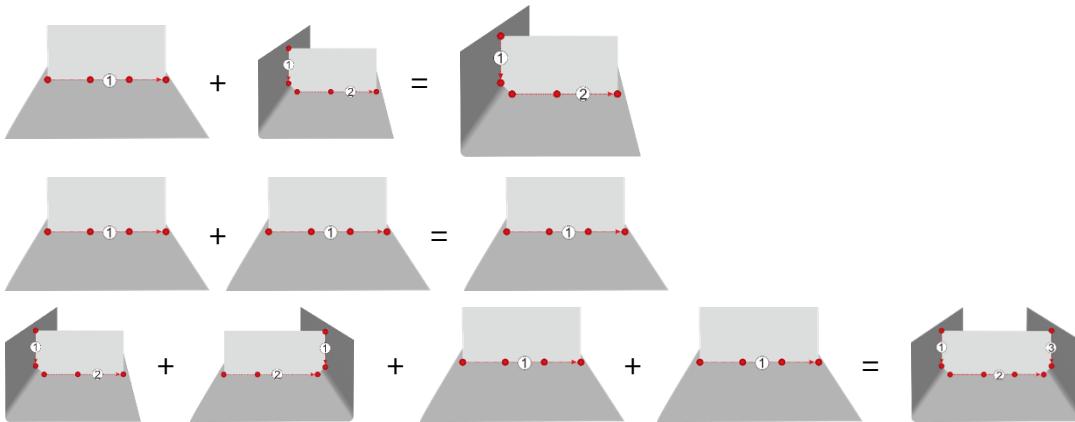
- 融合模式

融合模式工作方式为机器人在多个位置发送多次请求，最后焊缝数据融合之后再向机器人返回数据。该模式主要应对工件比较大的时候，无法一次拍摄完整的情况。

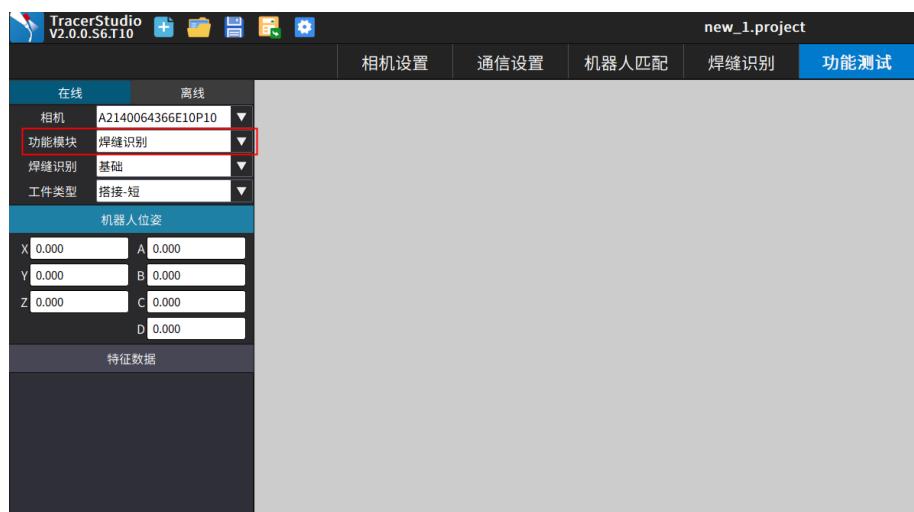
每次拍照请求都需要指定本次拍照的工件类型，最终融合的特征类型由实际情况决定，软件自动判断。

融合模式的公式为： $A+B+\dots+C=D$ ， $D$  取决于融合后的形状，例如：





### 6.2.3 功能测试



- 1) 【功能模块】选择【焊缝识别】
- 2) 【焊缝识别】选择对应的焊缝识别包
- 3) 【工件类型】选择当前对应的工件类型
- 4) 点击左下角 

### 6.2.4 注意事项

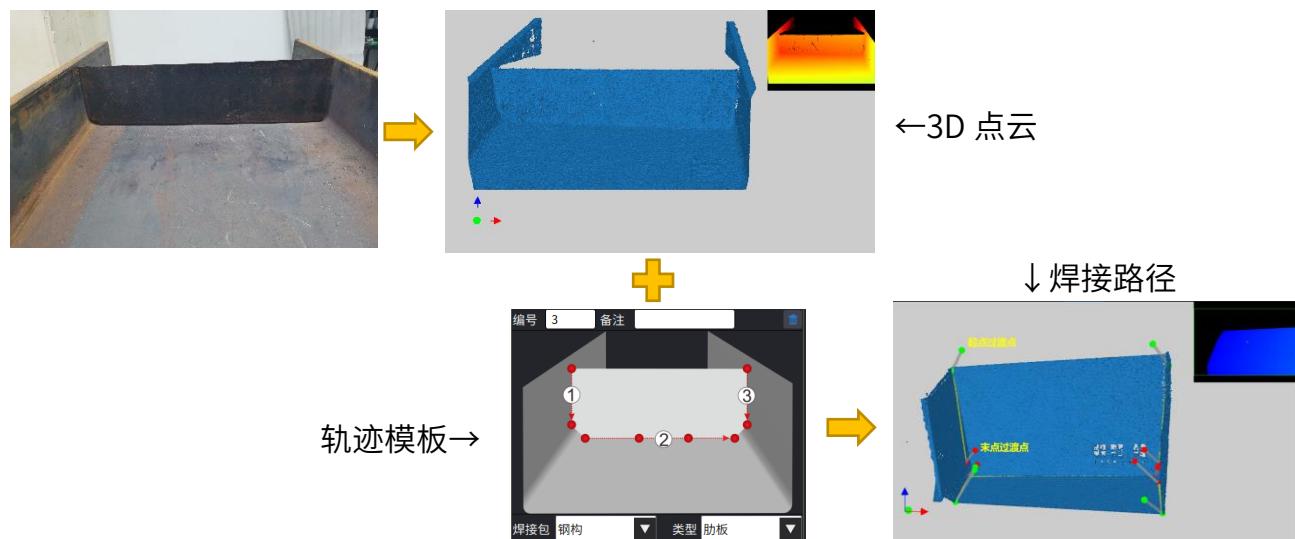
- 1) 视觉负责的工作是识别焊缝特征，提取焊接轨迹，并发送至机器人；
- 2) 对于部分焊缝，焊接轨迹的表达方式为射线，也就是点和方向，机器人收到消息之后

需要自行计算另一个端点；

- 3) 视觉发送的点位 XYZ，不包括姿态；
- 4) 视觉无法智能识别工件的形状，必须在消息中指定工件类型，具体请查看通讯协议；
- 5) 机器人侧的程序需要负责移动轨迹、拍照点、视觉请求、数据解析、点位赋值、焊接；
- 6) 对于部分品牌的机器人，可联系视觉厂家的技术支持，获取对应的机器人程序，减少机器人程序编辑的工作量。

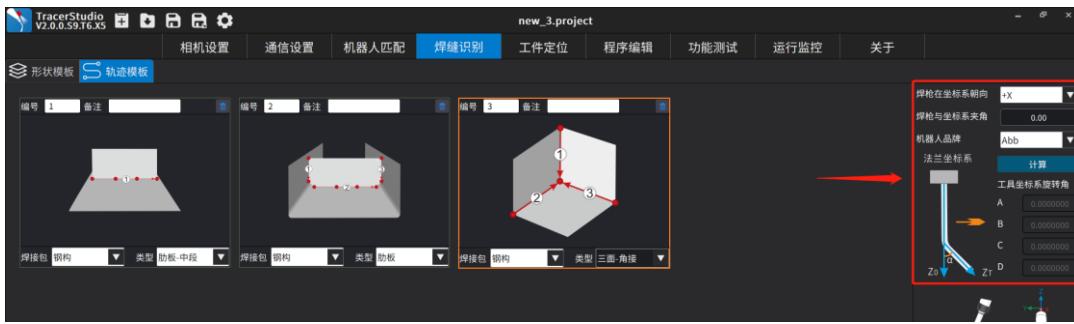
## 6.3 焊接轨迹计算

### 6.3.1 工作流程



\*注：通信协议请查看 [A.2.6 焊接轨迹计算](#)。

### 6.3.2 机器人工具设定



### 1) 判断方向，测量角度

判断焊枪在法兰坐标系下的朝向 (+X\ -X\ +Y\ -Y) 四种，测量焊枪弯管与法兰 Z 轴的夹角。

### 2) 计算结果

在软件中输入参数后，点击计算，将结果写入机器人工具设定参数。

### 3) 结果判断

将坐标系切换至工具坐标系，分别移动 X\ Y\ Z 轴，确认方向。

## 6.3.3 建立轨迹模板



### 1) 新增模板

点击新增模板，会自动创建模板单元，编号从 1 开始依次增加，不可修改。可对轨迹模板进行备注，以便同类型的区分

## 2) 选择模板形状

选择对应的焊接包和类型，定义模板形状。

## 3) 修改焊接轨迹参数

轨迹参数		算法参数											
安全距离 20.00		输出过渡点 <input checked="" type="checkbox"/> 输出姿态 <input checked="" type="checkbox"/>											
输出	编号	类型	是否反向	姿态-旋转角	起点倾角	未点倾角	长度类型	长度值	起点偏移	未点偏移	TY向偏移	TZ向偏移	应用
<input checked="" type="checkbox"/>	1	线段	<input checked="" type="checkbox"/>	0.00	30.00	30.00	实拍值	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<input checked="" type="checkbox"/>	2	线段	<input type="checkbox"/>	0.00	45.00	0.00	实拍值	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
参数		说明											
安全距离		焊接轨迹的安全距离											
是否输出		/											
是否反向		/											
姿态参数		姿态旋转角 起点倾角 未点倾角											
起末点偏移		起点偏移 未点偏移											
位置偏移		TY 向偏移 TZ 向偏移											
偏移参数示意图													

## 4) 修改算法参数

轨迹参数		算法参数											
重置	应用	参数设置						过滤与去噪					
间隙计算阈值 4.0		曲线采样点数 2		四格降采样: 0		连通梯度阈值: 0		连接面积最小比: 0.005		梯度过滤比率: 0.00		点云降采样率: 0.10	
面积过滤系数 0.15		两面夹角限制 40		梯度过滤比率: 0.00		点云降采样率: 0.10		最小点云占比率: 0.020		去孤立项: 0.00		去孤立项半径: 16	
绝对边界过滤阈值 10.0		翼板倾斜角度 30		去孤立项: 0.00		去孤立项半径: 16		去孤立项角度: 30		点云几何平滑次数: 2		点云几何平滑半径: 16	
钢板厚度 5		深度半径系数 0.25		点云几何平滑次数: 2		点云几何平滑半径: 16		点云法线平滑次数: 1		深度安全阈值: 0.0		深度安全阈值: 0.0	
深度偏移系数 0.10		焊线在缝隙中间: 否		点云法线平滑半径: 16		深度安全阈值: 0.0							

### 6.3.4 工作模式

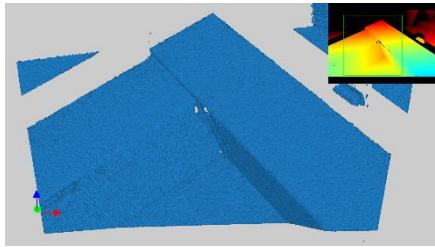
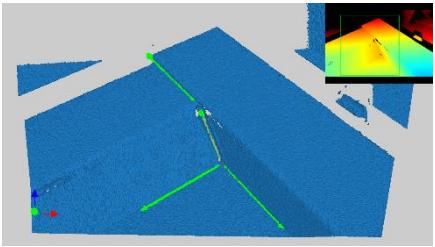
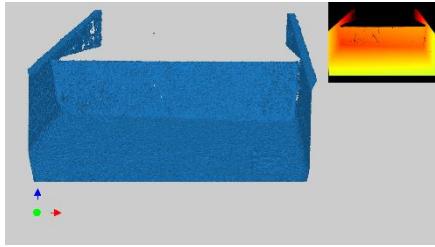
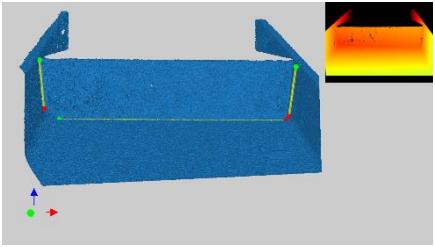
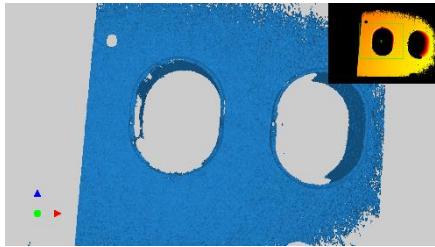
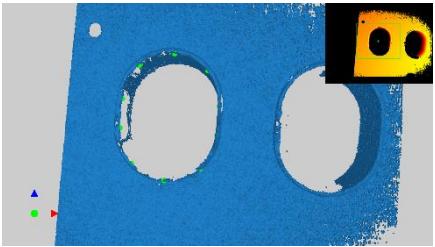
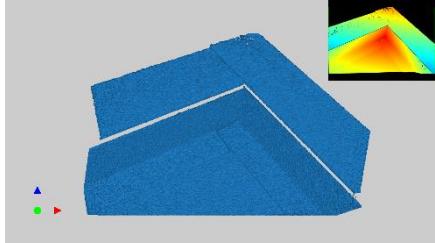
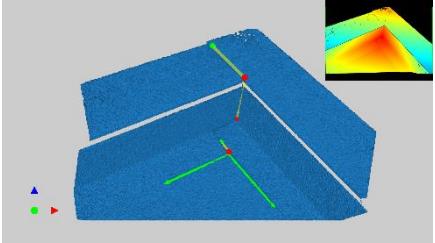
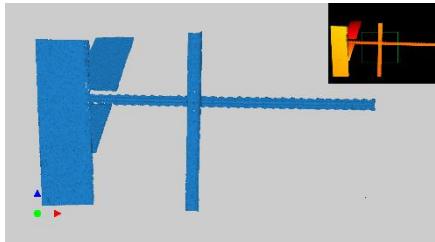
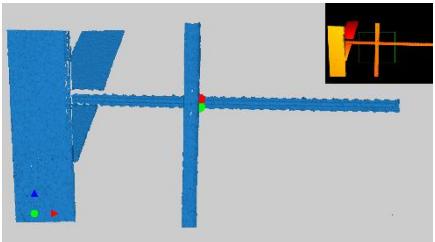
工作模式同样分为单步模式与融合模式，与 6.2.2 相同。

### 6.3.5 功能测试



- 1) 【功能模块】选择【轨迹模板】
- 2) 【编号】选择对应的轨迹模板编号
- 3) 点击左下角 

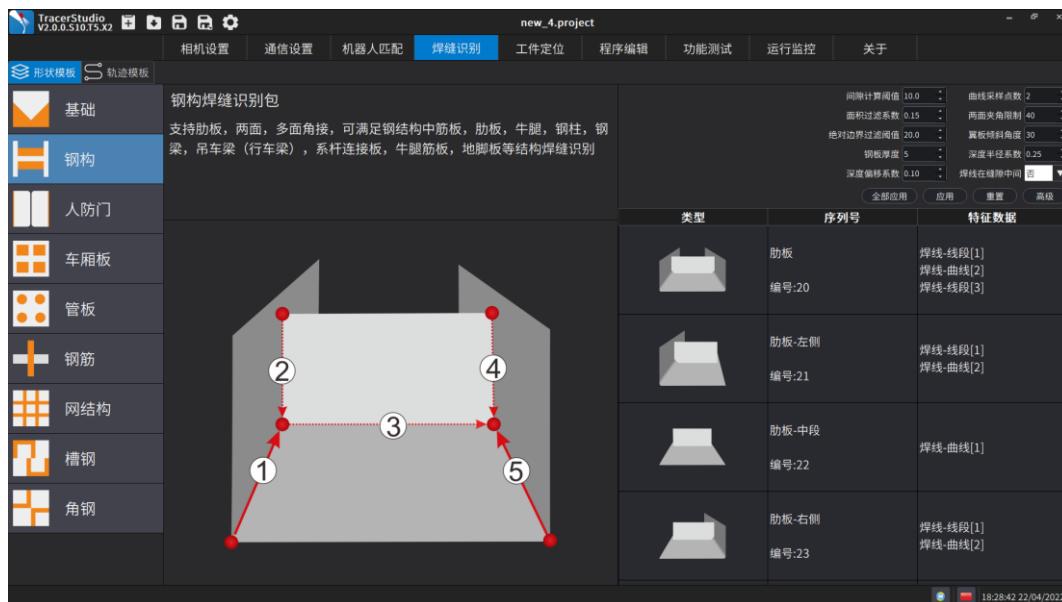
## 6.4 应用案例

实物工件	点云	计算结果
		
		
		
		
		

## 7. 权限查看和升级

### 7.1 权限查看

工艺包中灰色为未授权的工艺包，未授权工艺包具有查看以及功能测试的权限，可以进行手动测试不可进行运行监控（自动运行）。



### 7.2 授权升级

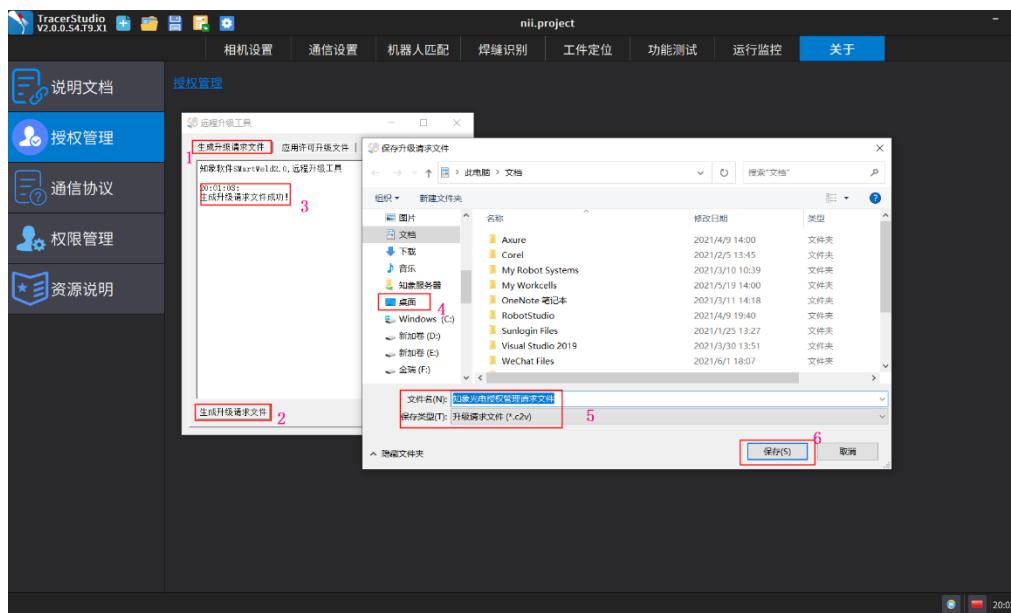


#### 1) 生成请求文件

点击【关于】→【授权管理】



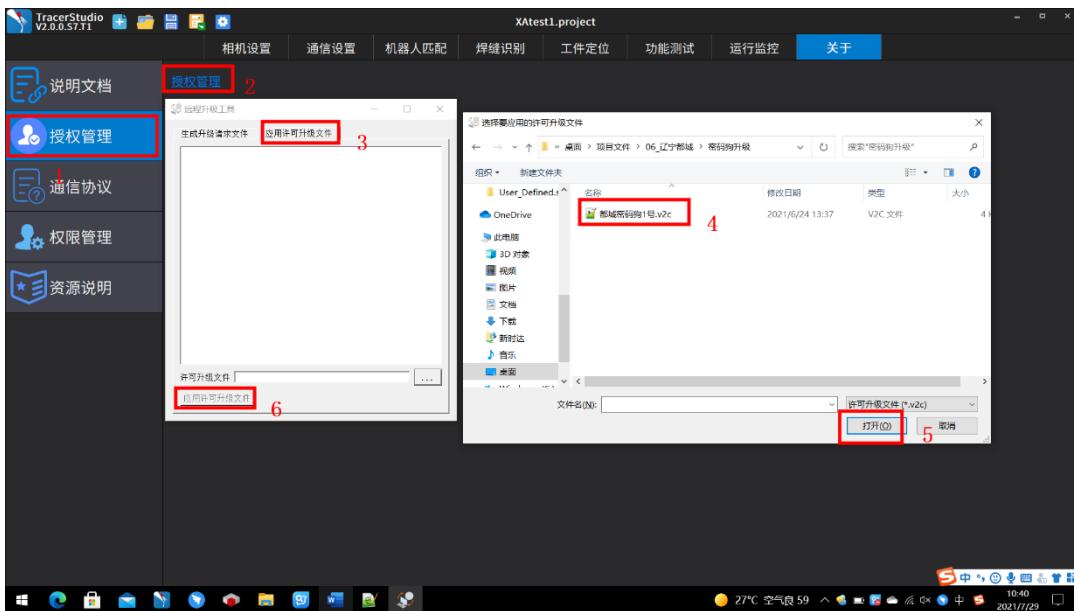
点击【生成升级请求文件】，生成升级请求文件.c2v 进行保存。



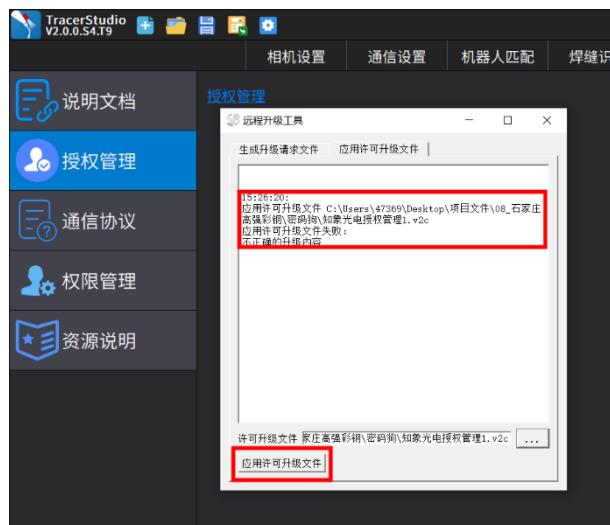
## 2) 发送请求文件

将 c2v 请求文件给原厂售后，并告知升级需求。售后处理好之后，会生成 v2c 升级文件。

## 3) 导入升级文件



提示升级成功，完成升级操作，关闭软件即可。

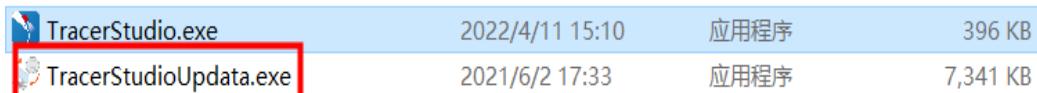


**注意！如果 TracerStudio 软件不能打开的情况下：**

- 【右击】TracerStudio 快捷方式, 【点击】打开文件所在位置;



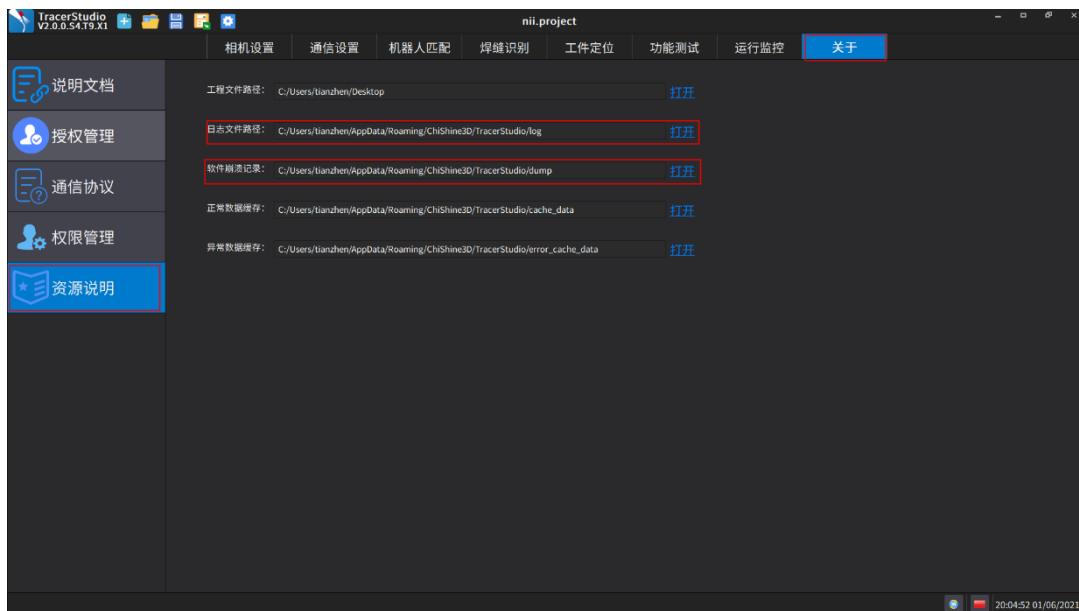
- 【双击】TracerStudioUpdata.exe 也同样可以打开应用升级工具



## 8. 异常处理

### 8.1 软件崩溃

- 1) 软件崩溃以后，首先重新打开软件。
- 2) 点击【关于】→【资源说明】→【软件崩溃记录】/【日志文件路径】。点击对应的打开按钮后，弹出相应的文件夹位置。
- 3) 将所有的 dump 文件以及 log 文件，一并打包发给我司相关技术人员。同时需要提供软件版本号以及软件崩溃的时间，以便快速找到对应的数据。



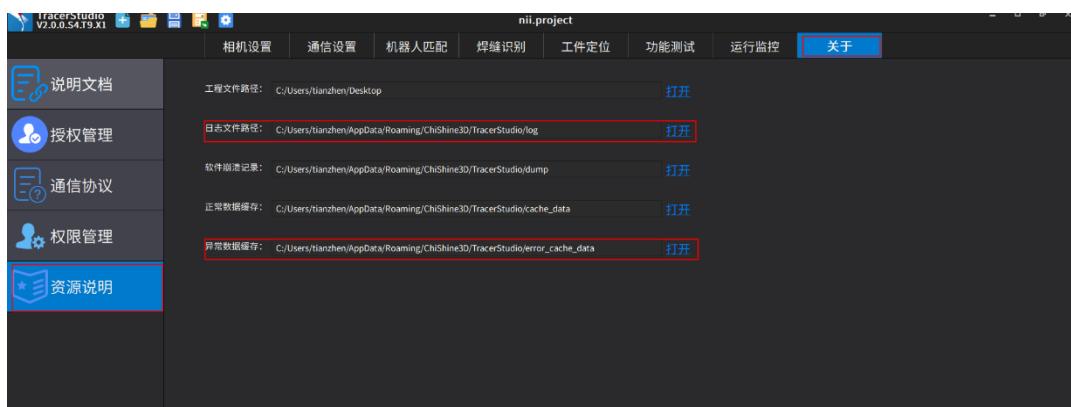
### 8.2 计算错误

序号	异常情况	处理方式
1	图像空洞、残缺	调整拍照参数、拍照距离和角度

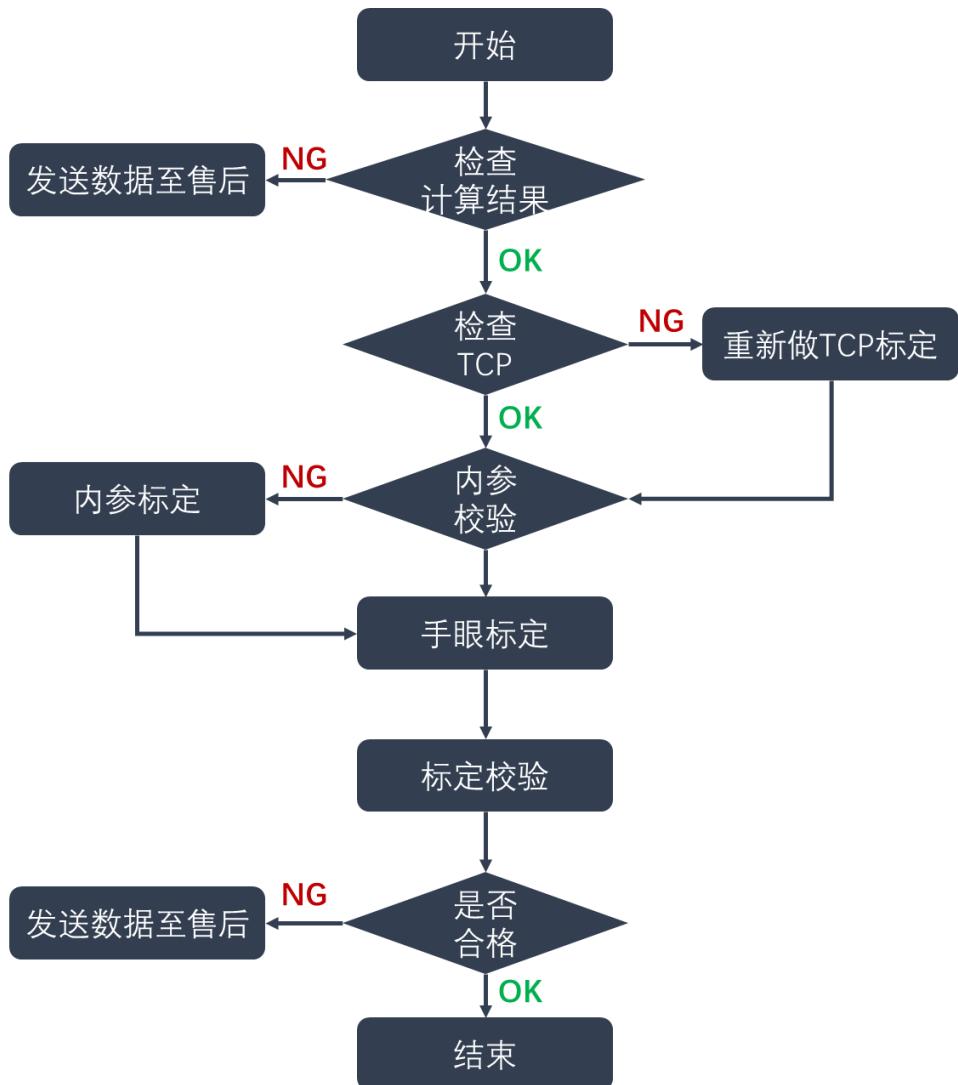
2	起末点位置错误	调整计算参数边界过滤阈值
3	拟合失败	检查形状，调整【面积过滤系数】【点云最小站比率】

若经过相机参数调整、计算参数调整仍然无法解决问题，请反馈数据至售后。

- 1) 点击【关于】→【资源说明】→【异常数据缓存】/【日志文件路径】
- 2) 打开后将所有的 ZIP 文件以及 log 文件，一并打包发给我司相关技术人员。同时提供软件版本号以及出现异常的时间，以便快速找到对应的数据。



## 8.3 走位偏差

**⚠ 注意事项**

- **走位偏差:** 指的是实际走位产生了 10mm 以内的偏位，若焊接轨迹完全异常，或者偏差非常大，则需要检查机器人程序；
- **检查计算结果:** 指的是观察运行监控界面，点云和计算结果的位置关系是否正确，若正确，则表明点云算法没有出错。

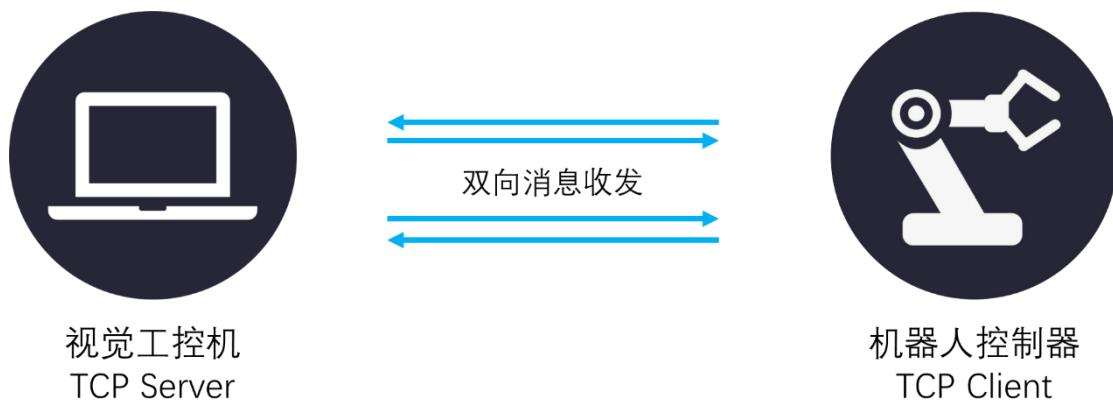
## 9. 通信内容及协议

### 9.1 通讯协议查阅流程

通信协议需要按照规定的方法进行查看，为了快速了解协议结构，请依据流程图，进行通讯协议的了解。在选择通讯方式的时候，

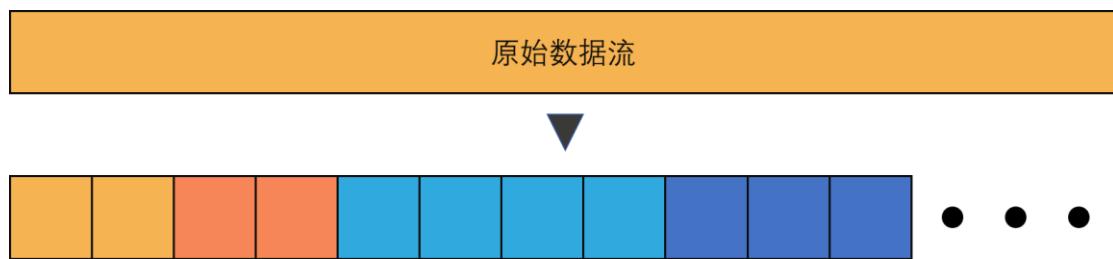
- 1) 依据机器人系统，选择合适的通讯方式，推荐顺序为原始数据>字符串>ModbusTCP；
- 2) 根据[附录 A 消息列表及时序图](#)查看相应业务的通讯时序图，了解消息的收发流程和内容；
- 3) 具体消息的内容请查看[附录 B 通讯协议—字符串](#)、[附录 C 通讯协议—原始数据](#)

### 9.2 通讯方式



基于 TCP/IP，视觉工控机为服务器，机器人控制器为客户端。

#### 9.2.1 原始数据 Raw Data



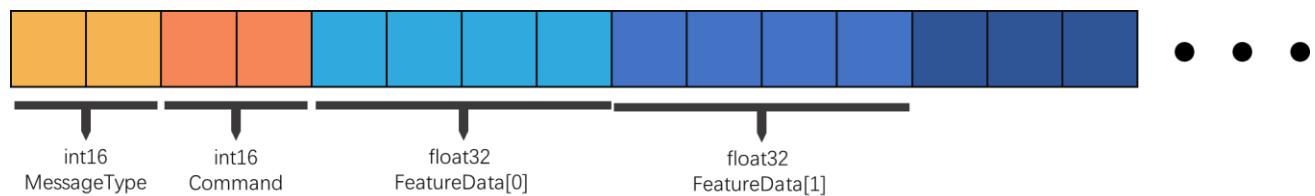
基于原始数据的通讯协议，是按照协议中指定的数据流的内容对消息进行编解码及业务处理。数据流中的内容为基础数据类型，包括 Int8、Int16、Int32、Float32 等。

例如：

消息 xxx 通讯协议为：

No.	描述	类型	长度 Byte
1	Message Type	Int16	2
2	Command	Int16	2
3	FeatureData[0]	Float32	4
4	FeatureData[1]	Float32	4
...	...	...	...

实际的数据流为：



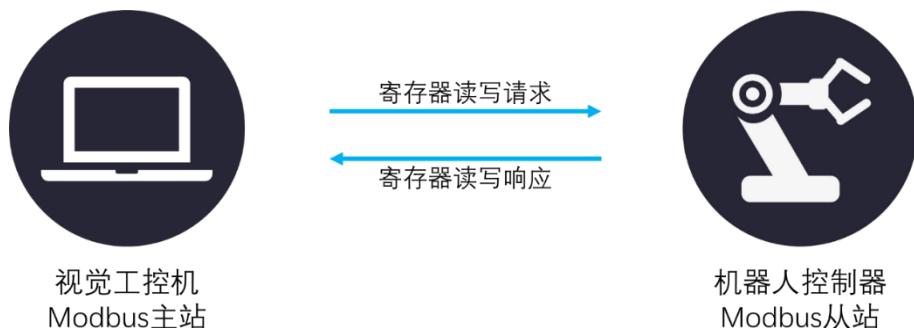
### 9.2.2 字符串 String

基于字符串的通讯协议，是将所有数据转换为 string，并将数据之间用 ‘，’ 分割，结尾不加 ‘，’ 。

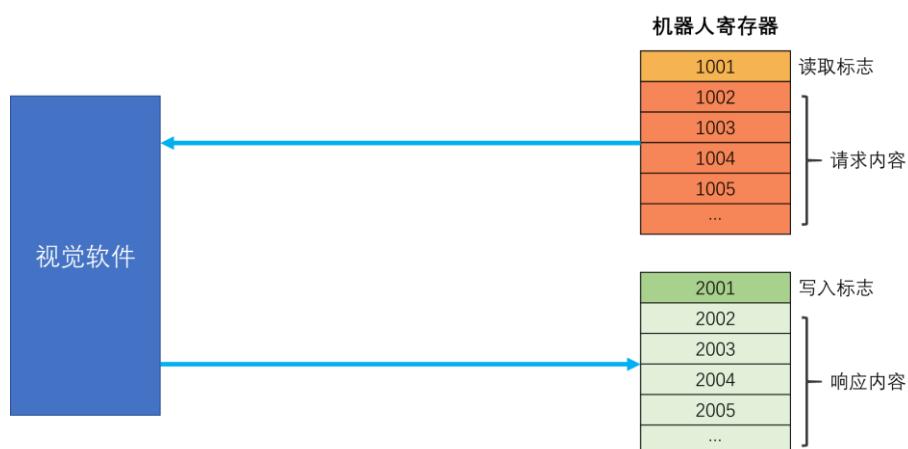
示例：



### 9.2.3 ModbusTCP



- 视觉工控机为主站，机器人控制器为从站
- 单向请求/响应



基于 Modbus 的通讯方式，通过标志位控制消息读取。具体实现为：

- 1) 视觉轮询【读取标志】，为 0 时，不工作；
- 2) 机器人按照通信协议将数据写入寄存器，预置【写入标志】为 0；
- 3) 修改【读取标志】为 1，视觉软件读取【请求内容】，并做相关处理；
- 4) 机器人轮询【写入标志】，为 0 时，不工作；
- 5) 视觉软件完成工作后，修改【写入标志】为 1；
- 6) 机器人读取【响应内容】，并工作。

## 附录 A 消息列表及时序图

### A.1 消息列表

消息内容请查看[附录 B 通讯协议-字符串](#)、[附录 C 通信协议-原始数据](#)

#### A.1.1 机器人→视觉

消息码	消息	英文描述	字符串	原始数据
000	视觉服务控制	Control vision service	<a href="#">B.1.000</a>	<a href="#">C.1.000</a>
001	单步请求焊缝数据	Request weld feature data by one-step	<a href="#">B.1.001</a>	<a href="#">C.1.001</a>
002	多步请求融合焊缝数据	Request combined weld feature data by multi-step	<a href="#">B.1.002</a>	<a href="#">C.1.002</a>
011	单步请求焊接轨迹	Request weld path by one-step	<a href="#">B.1.011</a>	<a href="#">C.1.011</a>
012	多步请求融合焊接轨迹	Request combined weld path data by multi-step	<a href="#">B.1.012</a>	<a href="#">C.1.012</a>
020	请求焊接工序	Request welding procedure	<a href="#">B.1.020</a>	<a href="#">C.1.020</a>
021	请求程序编辑焊接轨迹	Request welding path of program edit	<a href="#">B.1.021</a>	<a href="#">C.1.021</a>
030	请求工件定位偏差	Request workpiece positioning deviation	<a href="#">B.1.030</a>	<a href="#">C.1.030</a>
040	请求点云拼接	Request combine point cloud	<a href="#">B.1.040</a>	<a href="#">C.1.040</a>
101	请求内参标定	Request internal parameters calibration	<a href="#">B.1.101</a>	<a href="#">C.1.101</a>
102	请求手眼标定	Request hand-eye calibration	<a href="#">B.1.102</a>	<a href="#">C.1.102</a>
200	设置相机参数	Set camera parameter number	<a href="#">B.1.200</a>	<a href="#">C.1.200</a>

#### A.1.2 视觉→机器人

消息码	消息	英文描述	原始数据	字符串
001	焊缝特征数据	Weld feature data	<a href="#">B.2.001</a>	<a href="#">C.2.001</a>
002	单元焊接轨迹	Custom welding paths	<a href="#">B.2.002</a>	<a href="#">C.2.002</a>

030	工件定位偏差	Workpiece positioning deviation	<a href="#">B.2.030</a>	<a href="#">C.2.030</a>
900	成功	Success	<a href="#">B.2.900</a>	<a href="#">C.2.900</a>
999	错误	Error	<a href="#">B.2.999</a>	<a href="#">C.2.999</a>

## A.2 时序图



时序图是用于说明设备或者程序，执行业务的时候按照时间顺序进行的消息收发、工作执行。其中，时序图中消息的格式为<消息名称>（编号）：<属性>。<属性>为消息中的内容。

时序图中的消息内容请查看 [A.1 消息列表](#)

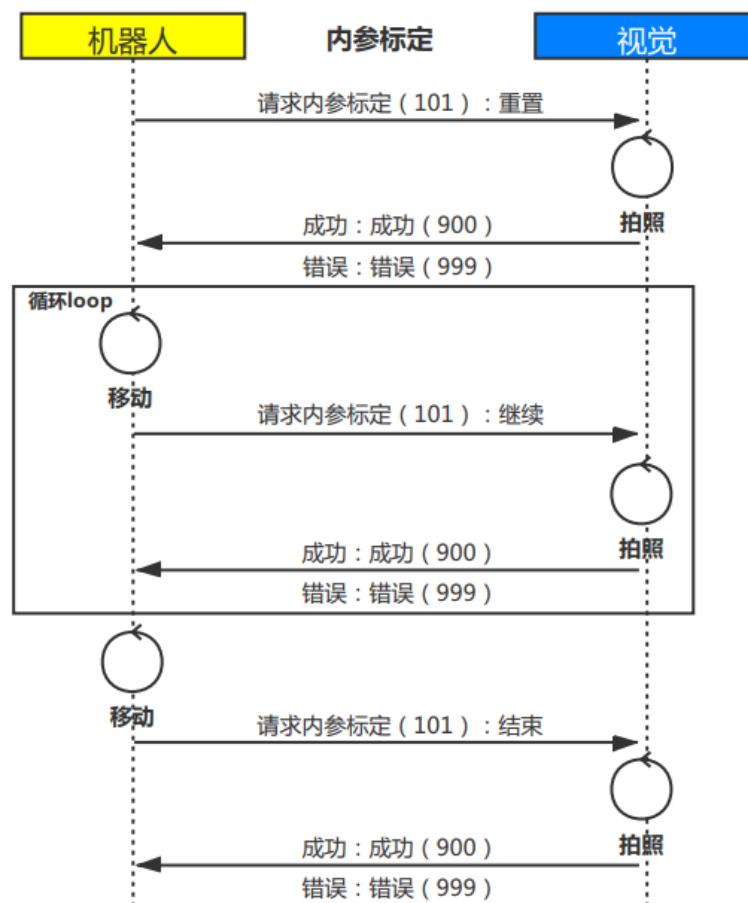
### A.2.1 视觉控制



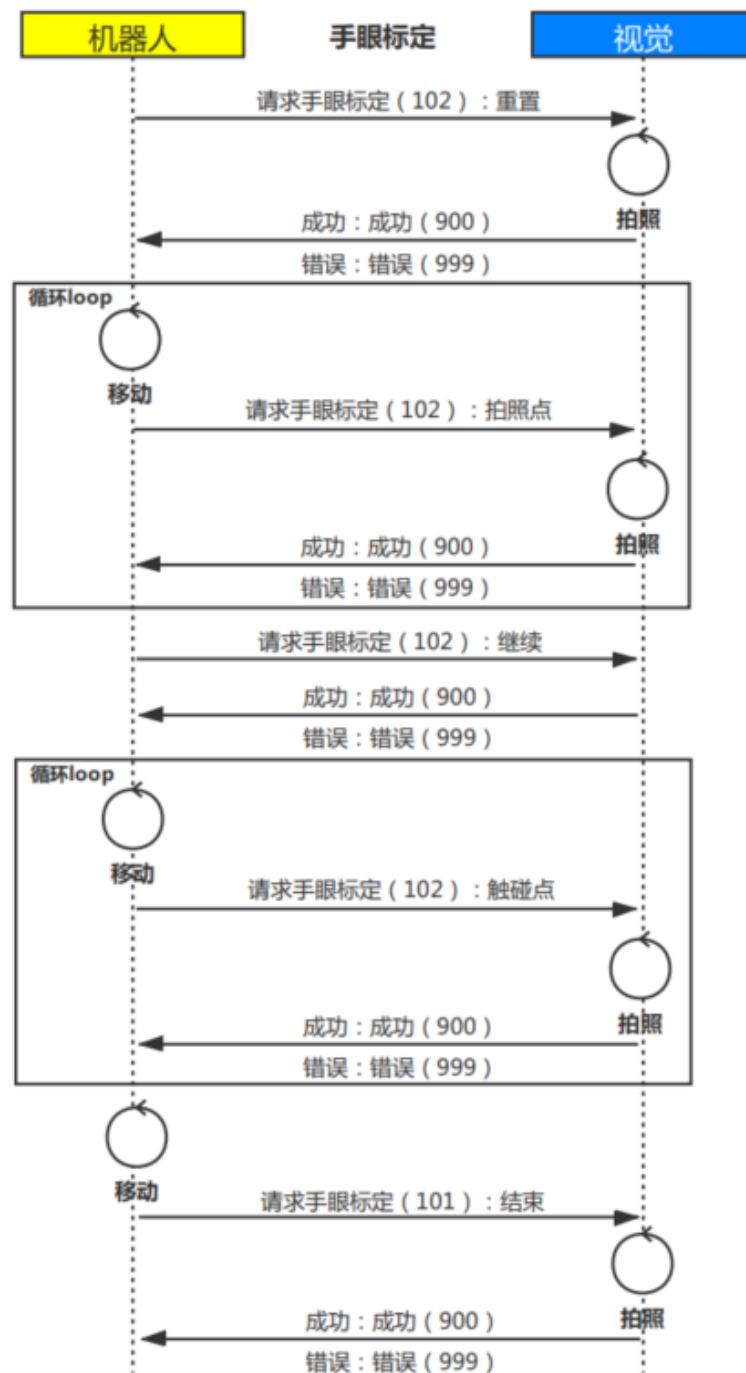
### A.2.2 设置相机参数



### A.2.3 内参标定



## A.2.4 手眼标定及校验

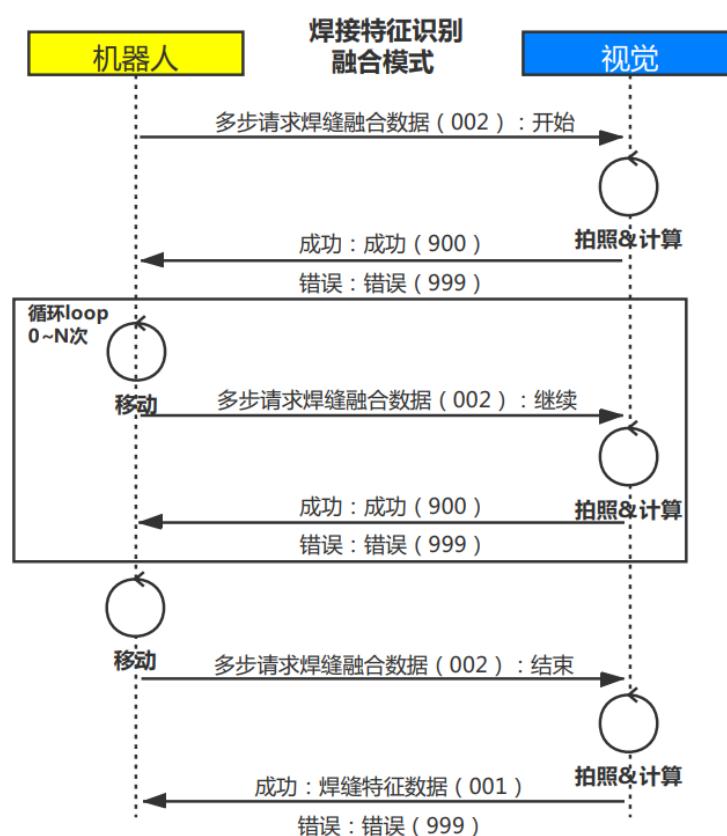


## A.2.5 焊缝特征识别

- 单步模式

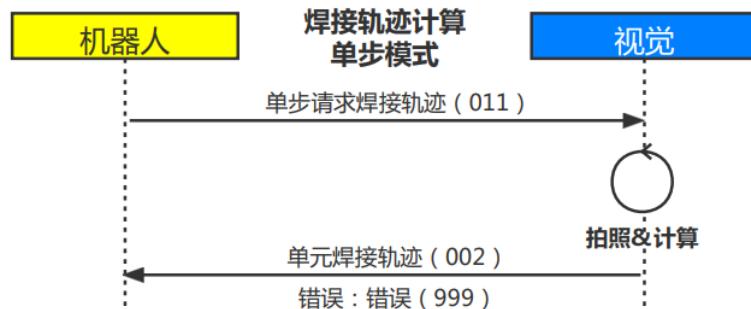


- 融合模式

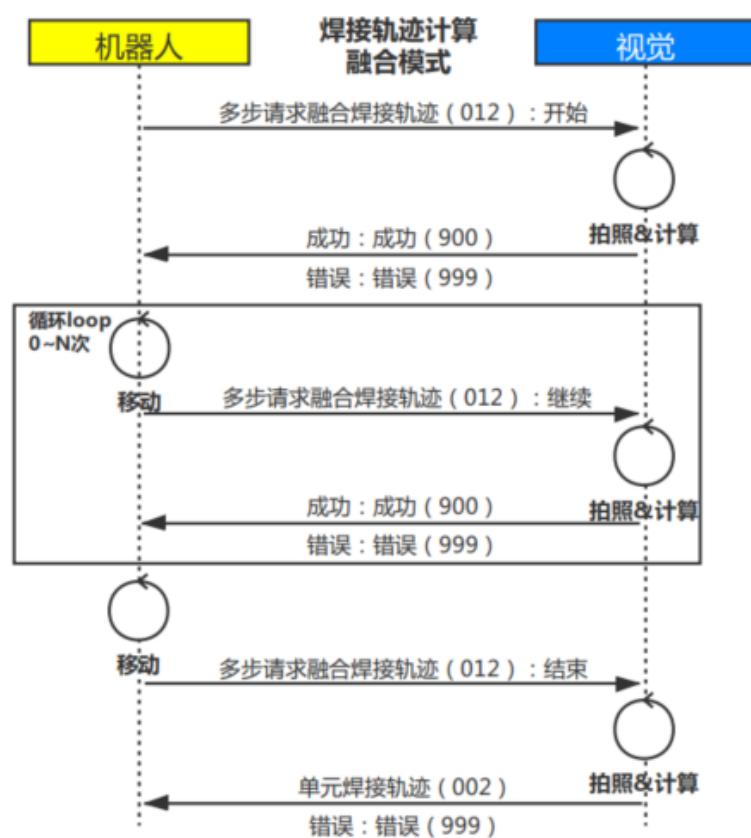


## A.2.6 焊接轨迹计算

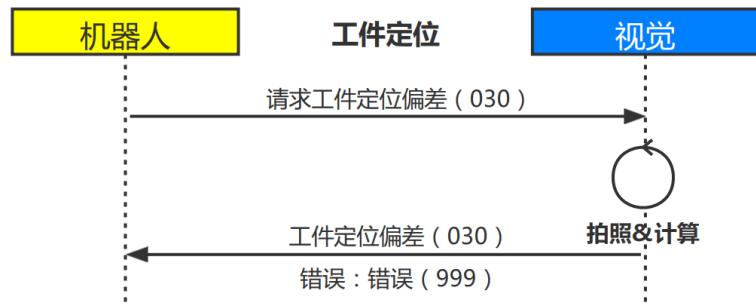
- 单步模式



- 融合模式



### A.2.7 工件定位

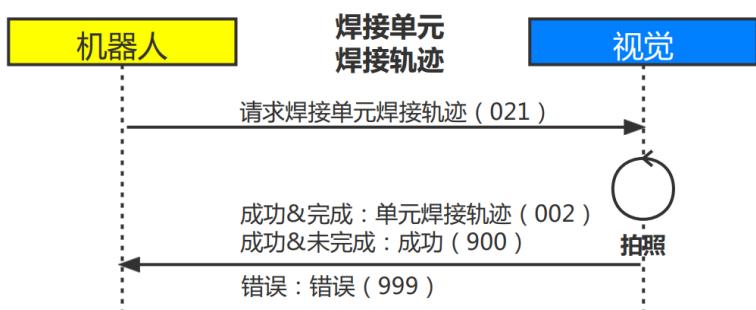


### A.2.8 程序编辑

- 工序选择



- 轨迹计算



## 附录 B 通讯协议—字符串

### B.1 机器人→视觉

000：视觉服务控制

发送数据内容	描述	备注
0	消息码	视觉服务控制
,	分隔符	
0 / 1	视觉服务启停命令码	0：停止；1：开始

001：单步请求焊缝数据

发送数据内容	描述	备注
1	消息码	单步请求焊缝数据
,	分隔符	
<工件类型>	当前所拍摄的工件类型	见 <a href="#">附 E.2</a>
,	分隔符	
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>	机器人当前位姿	

002：多步请求融合焊缝数据

发送数据内容	描述	备注
2	消息码	多步请求融合焊缝数据
,	分隔符	
0 / 1 / 2	指令功能码	0：开始 / 1：继续 / 2：结束
,	分隔符	
<工件类型>	当前所拍摄的工件类型	见 <a href="#">附 E.2</a>
,	分隔符	
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>	机器人当前位姿	

011：单步请求焊接轨迹

发送数据内容	描述	备注
11	消息码	单步请求焊缝路径

,	分隔符	
<模板编号>	轨迹模板编号	查看软件
,	分隔符	
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>	机器人当前位姿	

### 012：多步请求融合焊接轨迹

发送数据内容	描述	备注
12	消息码	多步请求融合焊缝数据
,	分隔符	
0 / 1 / 2	指令功能码	0: 开始 / 1: 继续 / 2: 结束
,	分隔符	
<模板编号>	轨迹模板编号	查看软件
,	分隔符	
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>	机器人当前位姿	

### 020：请求焊接工序

发送数据内容	描述	备注
20	消息码	视觉请求焊接工序
,	分隔符	
0 / 1	指令功能码	0: 关闭 / 1: 打开
,	分隔符	
<工序号>	工序号	查看软件

### 021：请求程序编辑焊接轨迹

发送数据内容	描述	备注
21	消息码	请求程序编辑焊接轨迹
,	分隔符	
<焊接单元号>	焊接单元号	查看软件
,	分隔符	
<拍照位号>	当前焊接单元下的拍照位号	查看软件
,	分隔符	

<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>	机器人当前位姿	
---------------------------------	---------	--

### 022：请求程序编辑缓存焊接轨迹

发送数据内容	数据类型	描述	备注
22	Int32	消息码	请求缓存的焊接轨迹
<焊接单元号>	Int32	焊接单元号	查看软件

### 030：请求工件定位偏差

发送数据内容	描述	备注
30	消息码	请求工件定位偏差
,	分隔符	
<基准编号>	基准点云编号	
,	分隔符	
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>	机器人当前位姿	

### 040：请求点云拼接

发送数据内容	描述	备注
40	消息码	请求点云拼接
,	分隔符	
0 / 1 / 2	指令功能码	0: 重置 / 1: 继续 / 2: 保存
,	分隔符	
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>	机器人当前位姿	

### 101：请求内参标定

发送数据内容	描述	备注
101	消息码	请求内参标定
,	分隔符	
0 / 1 / 99	指令功能码	0: 开始 / 1: 继续 / 99: 结束
,	分隔符	
<曝光值>	相机曝光值	

### 102：请求手眼标定

发送数据内容	描述	备注
102	消息码	请求手眼标定
,	分隔符	
0 / 1 / 2 / 98 / 99	指令功能码	0: 重置 / 1: 拍照点 / 2: 触碰点 98: 继续 / 99: 结束
,	分隔符	
<u>机器人位姿 RobotPose</u>	机器人当前位姿	
,	分隔符	
<曝光值>	相机曝光值	

## 200: 设置相机参数

发送数据内容	描述	备注
200	消息码	设置相机参数
,	分隔符	
<参数组号>	目标相机参数组号	

## B.2 视觉→机器人

### 001: 焊缝特征数据

发送数据内容	描述	备注
001	消息码	焊缝特征数据
,	分隔符	
<工件类型>	目标拼接类型	见 <a href="#">附 E.2</a>
,	分隔符	
<焊缝特征数据>	焊缝识别结果	见 <a href="#">附 E.2</a>

### 002: 单元焊接轨迹

发送数据内容	描述	备注
002	消息码	单元焊接轨迹
,	分隔符	
<焊缝数量 N >	焊缝数量	

,	分隔符	
<u>单条焊接轨迹</u> × N	焊接轨迹	

### 030：工件定位偏差

发送数据内容	描述	备注
030	消息码	工件定位偏差
,	分隔符	
<u>机器人位姿 RobotPose</u>	工件定位偏差	定位偏差表达方式与机器人位姿相同

### 900：成功

发送数据内容	描述	备注
900	消息码	成功

### 999：错误

发送数据内容	描述	备注
999	消息码	错误
,	分隔符	
<错误码>	错误码	见 <a href="#">附录 D</a>

## B.3 消息元

### 单条焊接轨迹 SingleWeldPath

数据内容	描述	备注
<焊缝类型>	焊缝类型	0: 平焊缝/ 1: 立焊缝
,	分隔符	
<焊线点数>	焊线点数	不包含过渡点
,	分隔符	
<焊缝间隙>	焊缝间隙	
,	分隔符	
<u>机器人位姿 RobotPose</u>	起点过渡点	
,	分隔符	
<u>机器人位姿 RobotPose</u>	焊接点 1	

,	分隔符	
<u>机器人位姿 RobotPose</u>	焊接点 2	
...	...	
,	分隔符	
<u>机器人位姿 RobotPose</u>	焊接点 n	
,	分隔符	
<u>机器人位姿 RobotPose</u>	末点过渡点	

### 机器人位姿 RobotPose

数据内容	描述	备注
x	X 坐标	
,	分隔符	
y	Y 坐标	
,	分隔符	
z	Z 坐标	
,	分隔符	
a	旋转角 1	
,	分隔符	
b	旋转角 2	
,	分隔符	
c	旋转角 3	
,	分隔符	非四元数时不包含
d	旋转角	非四元数时不包含

### 线段 WeldSegment

数据内容	描述	备注
<u>Point</u>	起点	
,	分隔符	
<u>Point</u>	未点	
,	分隔符	
<焊缝间隙>	焊缝间隙	

## 射线 WeldRay

数据内容	描述	备注
<u>Point</u>	起点	
,	分隔符	
<u>Vector</u>	焊缝方向矢量	单位矢量
,	分隔符	
<焊缝间隙>	焊缝间隙	

## 曲线 WeldCurve

数据内容	描述	备注
<点数 N>	曲线的线上点数	
,	分隔符	
<u>Point</u> × N	线上点	
,	分隔符	
<焊缝间隙>	焊缝间隙	

## 有向线段 WeldDirectedSegment

数据内容	描述	备注
<u>Point</u>	起点	
,	分隔符	
<u>Point</u>	末点	
,	分隔符	
<u>Vector</u>	焊缝方向矢量	单位矢量
,	分隔符	
<焊缝间隙>	焊缝间隙	

## 点组 WeldPoints

数据内容	描述	备注
<点数 N>	点数	
,	分隔符	
<u>Point</u> × N	点	

## 点 Point

数据内容	描述	备注
x	X 坐标	
,	分隔符	
y	Y 坐标	
,	分隔符	
z	Z 坐标	

## 矢量 Vector

数据内容	描述	备注
i	X 分量	
,	分隔符	
j	Y 分量	
,	分隔符	
k	Z 分量	

## B.4 通讯示例

### B.4.1 手眼标定

数据收发	数据	内容描述
机器人→视觉	102, 0, 13.6, 45.5, 453.5, 13.1, 35.5, 12.1, 8000	请求手眼标定 指令=0 (开始) : 拍照点 1 机器人当前位姿 13.6, 45.5, 453.5, 13.1, 35.5, 12.1
视觉→机器人	900	成功
机器人→视觉	102, 1, 12.6, 48.5, 483.5, 12.1, 38.5, 15.1, 8000	指令=1 (拍照点) : 拍照点 2
视觉→机器人	900	
...	...	...
机器人→视觉	102, 1, 15.6, 41.5, 483.5, 15.1, 28.5, 10.1, 8000	指令=1 (拍照点) : 拍照点 5
视觉→机器人	900	成功
机器人→视觉	102, 98	指令=98 (继续)

视觉→机器人	900	
机器人→视觉	102, 2, 11.5, 40.5, 423.5, 12.1, 38.5, 15.1	指令=2 (触碰点) : 触碰点 1
视觉→机器人	900	成功
...	...	...
机器人→视觉	102, 99, 17.5, 42.7, 323.5, 12.1, 38.5, 15.1	指令=99 (结束) : 触碰点 4
视觉→机器人	900	成功

#### B.4.2 钢构焊接

数据收发	数据	内容描述
机器人→视觉	0, 1	启动视觉服务
视觉→机器人	900	成功
机器人→视觉	1, 20, 13.6, 45.5, 453.5, 13.1, 35.5, 12.1	单步请求焊缝数据 类型工件=20(钢构—肋板) 当前机器人位姿为： 13.6,45.5,453.5,13.1,35.5,12.1
视觉→机器人	001, 20, 54.5, 54.4, 531.45, 53.2, 45.41, 541.4, 1.1, 3, 45.1, 21.1, 543.54, 54.4, 45.54, 548.4, 45.1, 45.8, 545.4, 2.3, 58.5, 54.4, 531.45, 59.2, 45.41, 541.4, 0.5	焊缝特征，类型为 20 焊线 1: 线段 起点=54.5,54.4,531.45 末点=53.2,45.41,541.4 间隙=1.1 焊线 2: 曲线 点数=3 点 1=45.1,21.1,543.54 点 2=54.4,45.54,548.4 点 3=45.1,45.8,545.4 间隙=2.3 焊线 2: 线段 起点=58.5,54.4,531.45 末点=59.2,45.41,541.4 间隙=0.5

机器人→视觉	2, 0, 21, 13.6, 45.5, 453.5, 13.1, 35.5, 12.1	多步请求融合焊缝数据 指令=0 (开始) 类型工件=21 (肋板-左) 当前机器人位姿为： 13.6, 45.5, 453.5, 13.1, 35.5, 12.1
视觉→机器人	900	成功
机器人→视觉	2, 2, 22, 54.5, 54.4, 531.45, 13.1, 35.5, 12.1	多步请求融合焊缝数据 指令=2 (结束) 类型工件=22 (肋板-中) 当前机器人位姿为： 54.5, 54.4, 531.45, 13.1, 35.5, 12.1
视觉→机器人	002, 21, 54.5, 54.4, 531.45, 53.2, 45.41, 541.4, 1.1, 3, 45.1, 21.1, 543.54, 54.4, 45.54, 548.4, 45.1, 45.8, 545.4, 2.3	焊缝特征，类型为 21 焊线 1：线段 起点=54.5, 54.4, 531.45 未点=53.2, 45.41, 541.4 间隙=1.1 焊线 2：曲线 点数=3 点 1=45.1, 21.1, 543.54 点 2=54.4, 45.54, 548.4 点 3=45.1, 45.8, 545.4 间隙=2.3
机器人→视觉	000, 0	关闭视觉服务
视觉→机器人	900	成功

## 附录 C 通讯协议—原始数据

基于原始数据 RawData 的设置项如下表所示。

序号	参数	详细
1	字节序	小端（默认） \ 大端
2	整数表达形式	Int16 (2bytes 默认) \ Int32 (4bytes) \ Float32 (4bytes)
3	后缀	默认为空， 非空示例：0D 0A

- 1) 通信协议中整数默认为 Int32，设置为其他类型时，所有整数均变为设置类型
- 2) 整数表达形式选项包含 Float 是为了适配部分机器人解码的便捷性，2→2.0, 15→15.0

### C.1 机器人→视觉

#### 000：视觉服务控制

发送数据内容	数据类型	描述	备注
0	Int32	消息码	视觉服务控制
0 / 1	Int32	视觉服务启停命令码	0：停止；1：开始

#### 001：单步请求焊缝数据

发送数据内容	数据类型	描述	备注
1	Int32	消息码	单步请求焊缝数据
<工件类型>	Int32	当前所拍摄的工件类型	见 <a href="#">附 E.2</a>
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>		机器人当前位姿	

#### 002：多步请求融合焊缝数据

发送数据内容	数据类型	描述	备注
2	Int32	消息码	多步请求融合焊缝数据
0 / 1 / 2	Int32	指令功能码	0：开始 / 1：继续 / 2：结束
<工件类型>	Int32	当前所拍摄的工件类型	见 <a href="#">附 E.2</a>
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>		机器人当前位姿	

### 011：单步请求焊接轨迹

发送数据内容	数据类型	描述	备注
11	Int32	消息码	单步请求焊接轨迹
<模板编号>	Int32	轨迹模板编号	查看软件
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>		机器人当前位姿	

### 012：多步请求融合焊接轨迹

发送数据内容	数据类型	描述	备注
12	Int32	消息码	多步请求融合焊接轨迹
0 / 1 / 2	Int32	指令功能码	0: 开始 / 1: 继续 / 2: 结束
<工件类型>	Int32	轨迹模板编号	查看软件
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>		机器人当前位姿	

### 020：请求焊接工序

发送数据内容	数据类型	描述	备注
20	Int32	消息码	视觉请求焊接工序
0 / 1	Int32	指令功能码	0: 关闭 / 1: 打开
<工序号>	Int32	工序号	查看软件

### 021：请求程序编辑焊接轨迹

发送数据内容	数据类型	描述	备注
21	Int32	消息码	请求程序编辑焊接轨迹
<焊接单元号>	Int32	焊接单元号	查看软件
<拍照位号>	Int32	当前焊接单元下的拍照位号	查看软件
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>		机器人当前位姿	

### 022：请求程序编辑缓存焊接轨迹

发送数据内容	数据类型	描述	备注

22	Int32	消息码	请求缓存的焊接轨迹
<焊接单元号>	Int32	焊接单元号	查看软件

### 030：请求工件定位偏差

发送数据内容	数据类型	描述	备注
30	Int32	消息码	请求工件定位偏差
<基准编号>	Int32	基准点云编号	
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>		机器人当前位姿	

### 040：请求点云拼接

发送数据内容	数据类型	描述	备注
40	Int32	消息码	请求点云拼接
0 / 1 / 2	Int32	指令功能码	0: 开始 / 1: 继续 / 2: 结束
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>		机器人当前位姿	

### 101：请求内参标定

发送数据内容	数据类型	描述	备注
101	Int32	消息码	请求内参标定
0 / 1 / 99	Int32	指令功能码	0: 开始 / 1: 继续 / 99: 结束
<曝光值>	Int32	曝光值	

### 102：请求手眼标定

发送数据内容	数据类型	描述	备注
102	Int32	消息码	请求手眼标定
0 / 1 / 2 / 98 / 99	Int32	指令功能码	0: 重置 / 1: 拍照点 / 2: 触碰点 98: 继续 / 99: 结束
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>		机器人当前位姿	
<曝光值>	Int32	曝光值	

### 200：设置相机参数

发送数据内容	数据类型	描述	备注

200	Int32	消息码	请求点云拼接
<参数组号>	Int32	目标相机参数组号	

## C.2 视觉→机器人

### 001：焊缝特征数据

发送数据内容	数据类型	描述	备注
1	Int32	消息码	焊缝特征数据
<工件类型>	Int32	当前所拍摄的工件类型	见 <a href="#">附 E.2</a>
<焊缝特征数据>		焊缝识别结果	见 <a href="#">附 E.2</a>

### 002：单元焊接轨迹

发送数据内容	数据类型	描述	备注
2	Int32	消息码	焊缝特征数据
<焊缝数量 N >	Int32	焊缝数量	
<u>单条焊接轨迹</u> × N		焊缝焊接轨迹	

### 030：工件定位偏差

发送数据内容	数据类型	描述	备注
30	Int32	消息码	工件定位偏差
<u>机器人位姿 RobotPose</u>		工件定位偏差	偏差表达方式与机器人位姿相同

### 900：成功

发送数据内容	数据类型	描述	备注
900	Int32	消息码	成功

### 999：错误

发送数据内容	数据类型	描述	备注
999	Int32	消息码	错误
<错误码>	Int32	错误码	<a href="#">附录 D</a>

### C.3 消息元

#### 单条焊接轨迹 SingleWeldPath

数据内容	数据类型	描述	备注
<焊缝类型>	Int32	焊缝类型	0: 平焊缝/ 1: 立焊缝
<焊线点数 n>	Int32	焊线点数	不包含过渡点
<焊缝间隙>	Float32	焊缝间隙	
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>	消息元	起点过渡点	
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>	消息元	焊接点 1	
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>	消息元	焊接点 2	
...		...	
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>	消息元	焊接点 n	
<a href="#">机器人位姿 RobotPose</a>	消息元	未点过渡点	

#### 机器人位姿 RobotPose

数据内容	数据类型	描述	备注
x	Float32	X 坐标	
y	Float32	Y 坐标	
z	Float32	Z 坐标	
a	Float32	旋转角 1	
b	Float32	旋转角 2	
c	Float32	旋转角 3	
d	Float32	旋转角 4	非四元数时不包含

#### 线段 WeldSegment

数据内容	数据类型	描述	备注
<a href="#">Point</a>	消息元	起点	
<a href="#">Point</a>	消息元	末点	
<焊缝间隙>	Float32	焊缝间隙	

#### 射线 WeldRay

数据内容	数据类型	描述	备注
<a href="#">Point</a>	消息元	起点	

<u>Vector</u>	消息元	焊缝方向矢量	单位矢量
<焊缝间隙>	Float32	焊缝间隙	

### 曲线 WeldCurve

数据内容	数据类型	描述	备注
<点数 N>	Int32	曲线的线上点数	
<u>Point</u> × N	消息元	线上点	
<焊缝间隙>	Float32	焊缝间隙	

### 有向线段 WeldDirectedSegment

数据内容	数据类型	描述	备注
<u>Point</u>	消息元	起点	
<u>Point</u>	消息元	末点	
<u>Vector</u>	消息元	焊缝方向矢量	单位矢量
<焊缝间隙>	Float32	焊缝间隙	

### 点组 WeldPoints

数据内容	数据类型	描述	备注
<点数 N>	Int32	点数	
<u>Point</u> × N	消息元	点	

### 点 Point

数据内容	数据类型	描述	备注
x	Float32	X 坐标	
y	Float32	Y 坐标	
z	Float32	Z 坐标	

### 矢量 Vector

数据内容	数据类型	描述	备注
i	Float32	X 分量	
j	Float32	Y 分量	
k	Float32	Z 分量	

## C.4 通讯示例

\*以字节序小端，整数为 int32 为例。

### C.4.1 手眼标定

数据收发	数据	内容描述
机器人→视觉	66 00 00 00 00 00 00 00 99 99 59 41 00 00 36 42 00 C0 E2 43 99 99 51 41 00 00 0E 42 99 99 41 41	请求手眼标定 指令=0 (开始) : 拍照点 1 机器人当前位姿 13.6, 45.5, 453.5, 13.1, 35.5, 12.1
视觉→机器人	84 03 00 00	成功
机器人→视觉	66 00 00 00 01 00 00 00 99 99 54 41 00 00 32 42 00 C0 E1 43 99 99 52 41 00 00 0E 45 99 99 42 43	指令=1 (拍照点) : 拍照点 2
视觉→机器人	84 03 00 00	
...	...	...
机器人→视觉	66 00 00 00 01 00 00 00 99 99 54 41 00 00 32 42 00 C0 E1 43 99 99 52 41 00 00 0E 45 99 99 42 43	指令=1 (拍照点) : 拍照点 5
视觉→机器人	84 03 00 00	成功
机器人→视觉	66 00 00 00 62 00 00 00	指令=98 (继续)
视觉→机器人	84 03 00 00	
机器人→视觉	66 00 00 00 02 00 00 00 99 99 54 41 00 00 32 42 00 C0 E1 43 99 99 52 41 00 00 0E 45 99 99 42 43	指令=2 (触碰点) : 触碰点 1
视觉→机器人	84 03 00 00	成功
...	...	...
机器人→视觉	66 00 00 00 63 00 00 00 99 99 54 41 00 00 32 42 00 C0 E1 43 99 99 52 41 00 00 0E 45 99 99 42 43	指令=99 (结束) : 触碰点 4
视觉→机器人	84 03 00 00	成功

### C.4.2 钢构焊接

数据收发	数据	内容描述
机器人→视觉	00 00 00 00 01 00 00 00	启动视觉服务
视觉→机器人	84 03 00 00	成功
机器人→视觉	01 00 00 00 14 00 00 00 99 99 59 41 00 00 36 42 00 C0 E2 43 99 99 51 41 00 00 0E 42 99 99 41 41	单步请求焊缝数据 类型工件=20(钢构—肋板) 当前机器人位姿为： 13.6,45.5,453.5,13.1,35.5,12.1
视觉→机器人	01 00 00 00 14 00 00 00 CB BE 42 C3 DB C0 46 C1 56 91 34 44 65 68 11 C3 97 33 9C C1 C5 2F 40 44 26 1C 43 40 03 00 00 00 53 49 03 C3 E8 04 08 C2 5D E9 40 44 5E 09 B8 C2 04 BA 12 C3 61 9A 32 44 98 65 53 C2 9F 38 81 C3 E2 5E 24 44 03 4A 32 40 5B E0 CF C2 E3 49 85 C3 E9 BB 14 44 D8 A1 72 C2 34 82 88 C3 5C E1 1E 44 4C 40 6D 40	焊缝特征，类型为 20 焊线 1：线段 起点= -194.745,-12.422,722.271 未点= -145.408,-19.525,768.746 间隙=3.049 焊线 2：曲线 点数=3 点 1= -131.286,-34.005,771.646 点 2= -92.018,-146.727,714.412 点 3= -52.849,-258.442,657.483 间隙=2.786 焊线 2：线段 起点= -103.938,-266.577,-594.936 未点= -60.658,-273.017,635.521 间隙=3.707
机器人→视觉	02 00 00 00 00 00 00 00 15 00 00 00 99 99 54 41 00 00 32 42 00 C0 E1 43 99 99 52 41 00 00 0E 45 99 99 42 43	多步请求融合焊缝数据 指令=0 (开始) 类型工件=21 (肋板-左) 当前机器人位姿为： 13.6, 45.5, 453.5, 13.1, 35.5, 12.1
视觉→机器人	84 03 00 00	成功

机器人→视觉	02 00 00 00 02 00 00 00 16 00 00 00 00 00 5A 42 99 99 59 42 CC DC 04 44 9 99 51 41 00 00 0E 42 00 00 40 41	多步请求融合焊缝数据 指令=2 (结束) 类型工件=22 (肋板-中) 当前机器人位姿为： 54.5,54.4, 531.45, 13.1, 35.5, 12.1
视觉→机器人	01 00 00 00 15 00 00 00 B0 38 3C C3 9E B0 57 C2 50 0D 33 44 A3 F7 15 C3 4E F4 6A C2 BF 31 3C 44 CE 30 2D 40 03 00 00 00 02 BB 00 C3 10 3D 92 C2 4B 01 3E 44 9D 50 97 C2 F6 D4 33 C3 58 47 2D 44 3A B2 CF C1 D6 1B 8C C3 54 97 1D 44 D1 17 34 40	焊缝特征，类型为 21 焊线 1：线段 起点= -188.221,-53.922,716.208 末点= -149.967,-58.739,752.777 间隙=2.706 焊线 2：曲线 点数=3 点 1= -128.730,-73.119,760.020 点 2= -75.657,-179.832,693.115 点 3= -25.962,-280.217,630.365 间隙=2.814
机器人→视觉	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	关闭视觉服务
视觉→机器人	84 03 00 00	成功

## 附录 D 错误码

0	处理成功
1	未初始化
2	点云法线处理失败
3	点云分割失败
4	检测/拟合(平面、圆柱)失败
5	拟合偏差过大
6	钢筋不垂直交叉
7	钢筋间距太远
8	未知异常
9	点云创建失败
10	点云太少
11	拟合形状不符合期望
12	无数据
13	弧形骨架线提取失败
14	弧形骨架线筛选点失败
15	获取计算结果为空
16	点云预处理失败
17	焊接参数为空
18	手眼转换失败
19	点云非有序点云
20	边界提取失败
21	数据(平面等)的角度非法
22	数据合并失败
23	数据在点云后面(可能撞枪)
24	数据错误
25	请求数据错误
26	机器人位姿数据错误
27	未找到工艺包
28	特征结果为空
29	未授权

## 附录 E 焊缝识别—工件类型及焊缝特征

### E.1 焊缝基础元素

一个工件类型的结构中，包含多条焊缝，焊缝可以拆解为不同的元素特征，如下表所示。

每一种元素的数据结构是相同的，不同的通信协议，有不同的表达，可以通过本表查询。

表 1 焊缝基础元素表

焊缝基础元素表			
元素类型	描述	字符串	原始数据
线段	起点+末点+间隙	<a href="#">B.3.2</a>	<a href="#">C.3.2</a>
射线	起点+方向矢量+间隙	<a href="#">B.3.3</a>	<a href="#">C.3.3</a>
曲线	点数+点 $\times$ N+间隙	<a href="#">B.3.4</a>	<a href="#">C.3.4</a>
有向线段	起点+末点+方向矢量+间隙	<a href="#">B.3.5</a>	<a href="#">C.3.5</a>
点组	点数+点 $\times$ N	<a href="#">B.3.6</a>	<a href="#">C.3.6</a>

### E.2 工件类型与焊缝特征

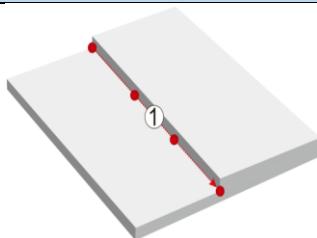
移动位置

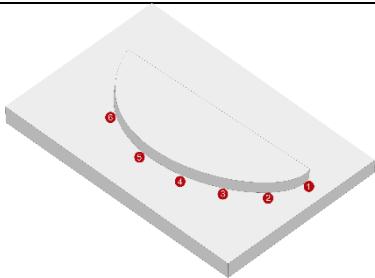
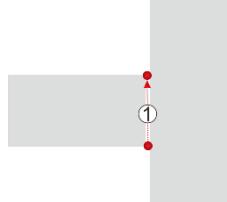
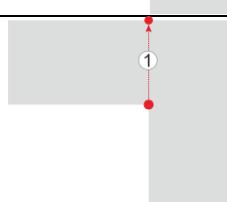
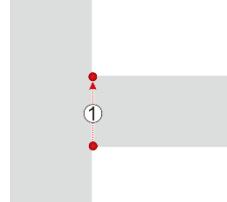
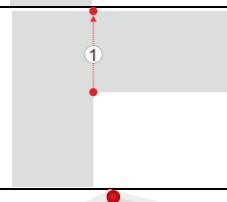
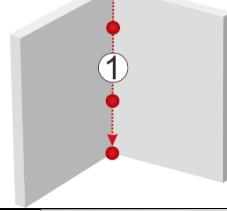
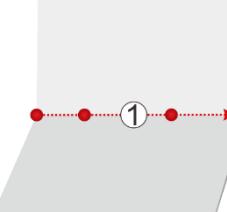
类型改动

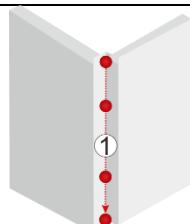
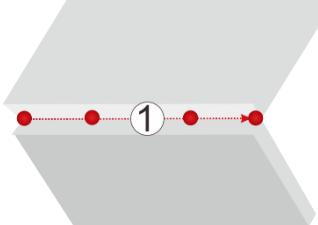
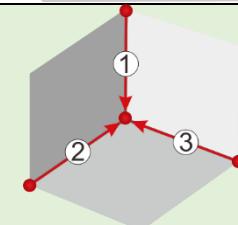
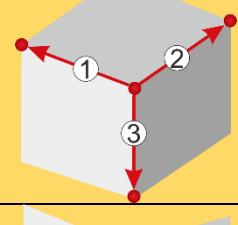
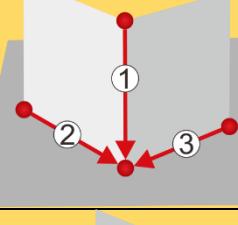
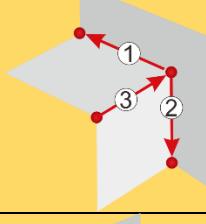
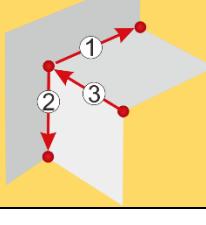
新增类型

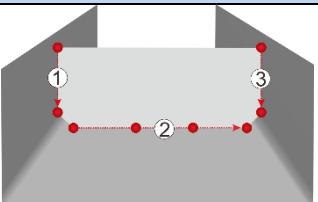
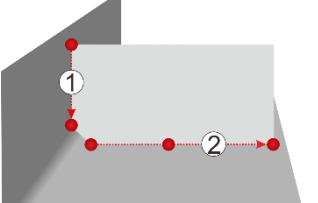
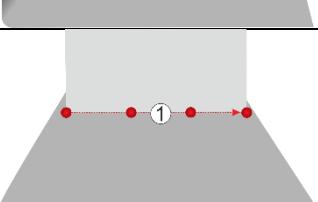
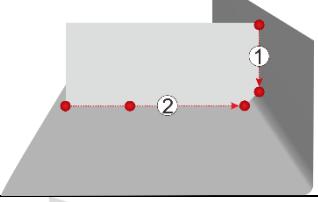
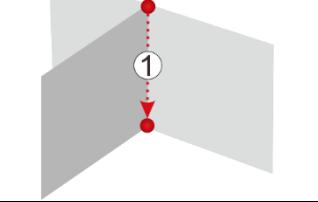
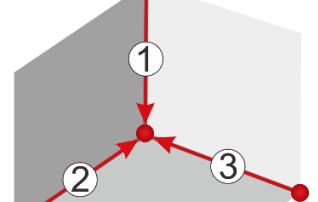
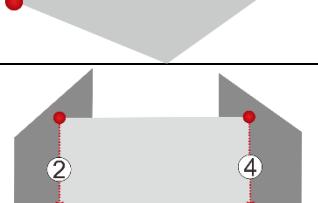
通信协议中焊缝特征的内容，请查看此表，表中基础元素请查看焊缝基础元素表。

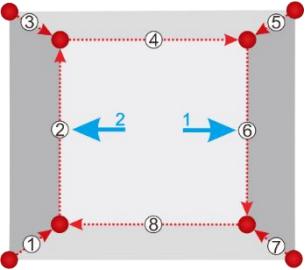
表 2 工件类型与焊缝特征表

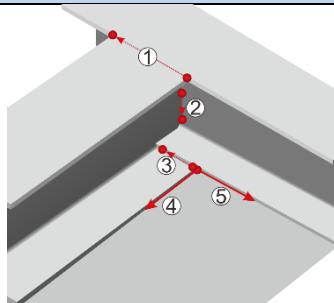
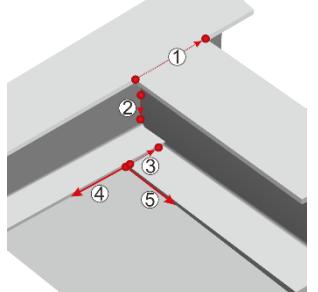
工件类型	描述	图片	焊缝特征	支持模式
基础形状				
1	搭接		① 曲线	单步融合

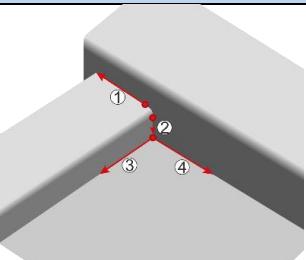
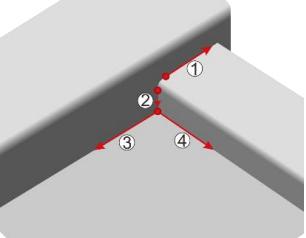
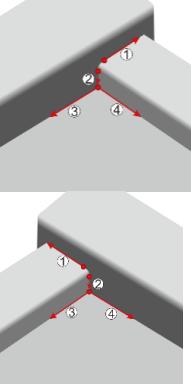
2	圆弧搭接		① 曲线	单步
3	对接-左		① 线段	单步
			① 线段	单步
4	对接-右		② 线段	单步
			① 线段	单步
5	两面-内角立		① 曲线	单步 融合
6	两面-内角平		① 曲线	单步 融合

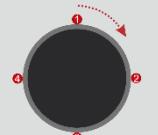
7	两面-外角立		① 曲线	单步
8	两面-外角平		① 曲线	单步 融合
9	三面-内角接		① 有向线段 ② 有向线段 ③ 有向线段	单步
10	三面-外角接		① 有向线段 ② 有向线段 ③ 有向线段	单步
11	三面-拼接立		① 有向线段 ② 有向线段 ③ 有向线段	单步
12	三面-拼接左		① 有向线段 ② 有向线段 ③ 有向线段	单步
13	三面-拼接右		① 有向线段 ② 有向线段 ③ 有向线段	单步

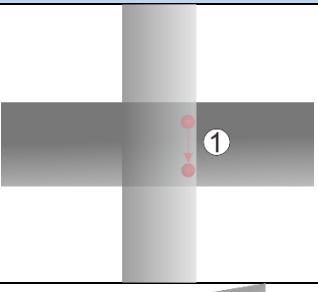
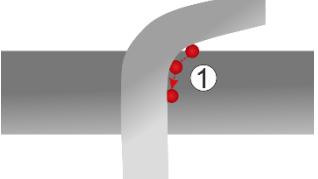
钢构				
20	肋板		① 左侧立焊缝：线段 ② 平焊缝：曲线 ③ 右侧立焊缝：线段	单步融合
21	肋板-左侧		① 左侧立焊缝：线段 ② 平焊缝：曲线	单步融合
22	肋板-中段		① 平焊缝：曲线	单步融合
23	肋板-右侧		① 右侧立焊缝：线段 ② 平焊缝：曲线	单步融合
24	两面-立焊缝		① 角焊缝：曲线	单步
25	三面-角接		① 立焊缝：有向线段 ② 平焊缝左：有向线段 ③ 平焊缝右：有向线段	单步
26	四面-角接		① 平焊缝左：有向线段 ② 立焊缝左：线段 ③ 平焊缝中：线段 ④ 立焊缝右：线段 ⑤ 平焊缝右：有向线段	单步融合

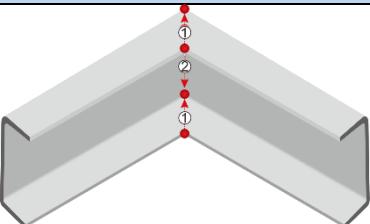
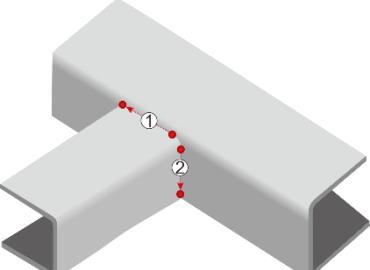
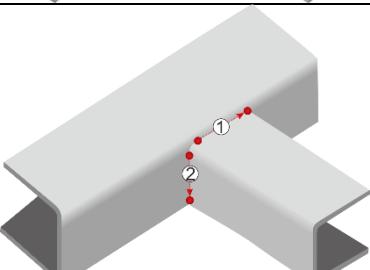
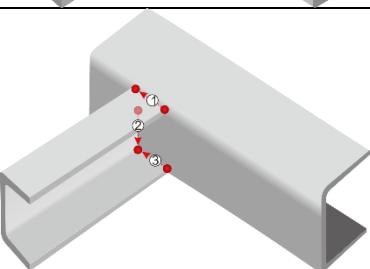
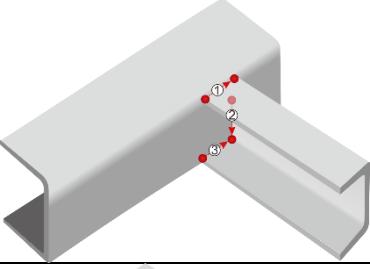
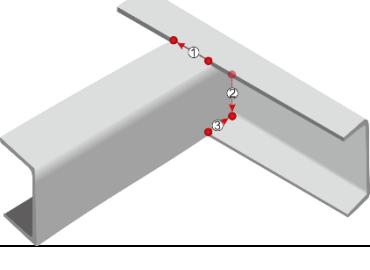
27	五面-角接		<p>① 立焊缝：线段 ② 平焊缝：线段 ③ 立焊缝：线段 ④ 平焊缝：线段 ⑤ 立焊缝：线段 ⑥ 平焊缝：线段 ⑦ 立焊缝：线段 ⑧ 平焊缝：线段</p> <p>融合</p>
----	-------	---	--

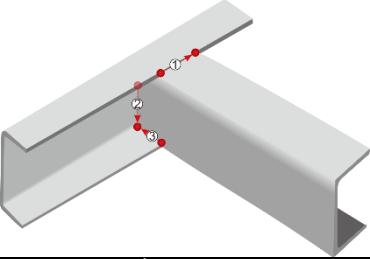
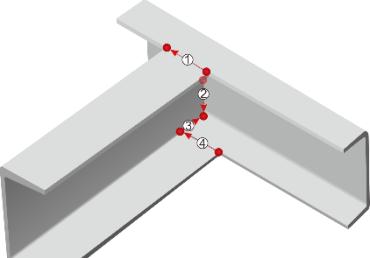
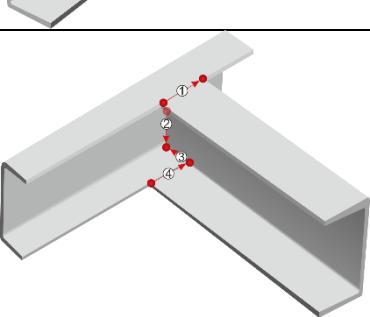
人防门				
30	工字钢-左侧		<p>① 顶部焊缝：线段 ② 立焊缝：线段 ③ 平焊缝小段：线段 ④ 平焊缝左：射线 ⑤ 平焊缝右：射线</p>	单步
31	工字钢-右侧		<p>① 顶部焊缝：线段 ② 立焊缝：线段 ③ 平焊缝小段：线段 ④ 平焊缝左：射线 ⑤ 平焊缝右：射线</p>	单步

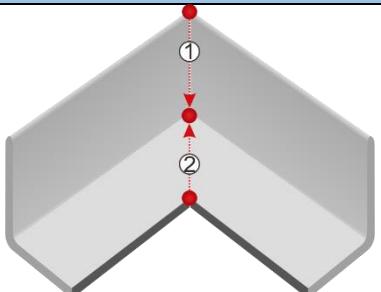
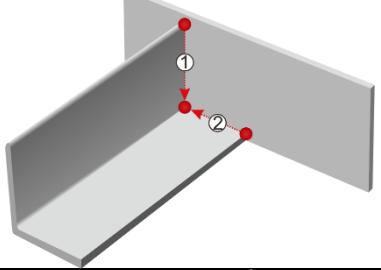
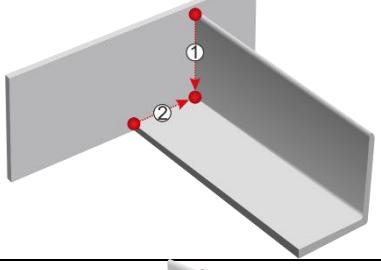
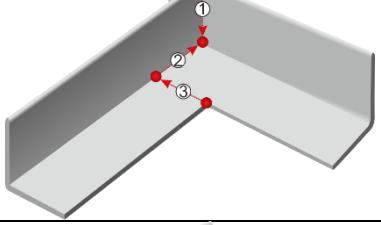
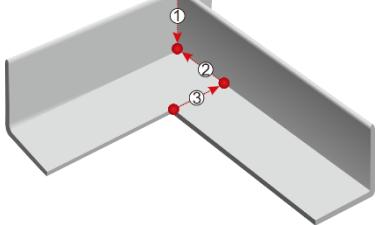
车厢板				
40	侧板-左侧		① 顶部焊缝：射线 ② 立焊缝：线段 ③ 平焊缝左：射线 ④ 平焊缝右：射线	单步
41	侧板-右侧		① 顶部焊缝：射线 ② 立焊缝：线段 ③ 平焊缝左：射线 ④ 平焊缝右：射线	单步
42	侧板-自识别		① 顶部焊缝：射线 ② 立焊缝：线段 ③ 平焊缝左：射线 ④ 平焊缝右：射线	单步

管板				
50	管板-圆孔		① 轮廓边缘: 点组	单步
51	管板-腰型孔		① 轮廓边缘: 点组	单步
52	管板-多圆孔		个数 N: 整数/int ③ 轮廓边缘: 点组 1 ④ 轮廓边缘: 点组 2 .... 轮廓边缘: 点组 N	单步 去重

钢筋				
60	交叉直钢筋		① 交叉位置：线段	单步
61	折弯钢筋-直钢筋		① 交叉位置：曲线	单步

槽钢				
70	槽钢_对接		① 顶部焊缝：线段 ② 立焊缝：线段 ③ 底部焊缝：线段	
71	槽钢_外接_左		① 顶部焊缝：线段 ② 立焊缝：线段	
72	槽钢_外接_右		② 顶部焊缝：线段 ③ 立焊缝：线段	
73	槽钢_内接_左		① 顶部焊缝：线段 ② 立焊缝：线段 ③ 底部焊缝：线段	
74	槽钢_内接_右		④ 顶部焊缝：线段 ⑤ 立焊缝：线段 ⑥ 底部焊缝：线段	
75	槽钢_外嵌入_左		① 顶部焊缝：线段 ② 立焊缝：线段 ③ 底部焊缝：线段	

76	槽钢_外嵌入_右		① 顶部焊缝：线段 ② 立焊缝：线段 ③ 底部焊缝：线段	
77	槽钢_内嵌入_左		① 顶部焊缝：线段 ② 立焊缝：线段 ③ 底部焊缝：线段 ④ 底部焊缝：线段	
78	槽钢_内嵌入_右		① 顶部焊缝：线段 ② 立焊缝：线段 ③ 底部焊缝：线段 ④ 底部焊缝：线段	

角钢				
80	角钢_对接		① 立焊缝：线段 ② 平焊缝：线段	
81	角钢_内接_左		① 立焊缝：线段 ② 平焊缝：线段	
82	角钢_内接_右		① 立焊缝：线段 ② 平焊缝：线段	
83	角钢_内嵌入_左		① 立焊缝：线段 ② 平焊缝：线段 ③ 平焊缝：线段	
84	角钢_内嵌入_右		① 立焊缝：线段 ② 平焊缝：线段 ③ 平焊缝：线段	