



南京越擎信息科技有限公司

Nanjing Yueqing Information Technology Co., Ltd



iRobotCAM

用户手册 V1.2



目录

第一章：iRobotCAM 安装指南	1
1.1 安装前提	1
1.2 安装试用+激活版本	1
第二章：产品关键特性	6
2.1 机器人生产线设计	7
2.2 机电一体化设计与物理仿真	8
2.3 离线编程	9
2.4 机器人虚拟调试	10
第三章：iRobotCAM 用户界面	1
3.1 新建工程文件	1
3.2 组件库	2
3.3 机电建模	2
3.4 甘特图	16
3.5 装配关系	16
3.6 示教编程	16
3.7 碰撞检测	17
3.8 程序编辑	18
3.9 URDF 导入与导出	23
3.10 工作空间	24
3.11 欧拉角	25
3.12 通信模块	25
3.13 仿真验证	26
3.14 激光切割	27
3.15 焊接	27
3.16 屏幕录制功能	28
第四章：注意事项与保存	30
第五章：定义基本机电对象	35
第六章：定义传送带	43
第七章：定义阵列运动单元	55
第八章：创建机器人	65
第九章：示教编程-画圆弧	78
第十章：机器人抓与放	87
第十一章：碰撞检测	112



第十二章：配置 ModbusTcp 通信	122
第十三章：转盘模型构建	136
第十四章：激光切割	154
第十五章：焊接	163



第一章：iRobotCAM 安装指南

这份指南将引导您完成在 Windows 操作系统上安装 iRobotCAM 的过程。

1.1 安装前提

- 计算机 Windows 系统要求：支持 Win10 64 位或更高版本。
- ZW3D 版本要求：最低支持 ZW3D 2023X 教育版本，ZW3D 2024 版本无特殊要求。
- 本产品仅在 ZW3D 软件的专家级别进行开发。

1.2 安装试用+激活版本

安装前注意事项：

在安装软件包之前，以下是您需要注意的事项：

1. 试用期：

- 软件包提供 30 天的免费试用期。
- 30 天后，您将需要激活授权才能继续使用。

2. ZW3D 安装：

- 确保您的系统上已安装 ZW3D 软件（从 ZW3D 官方网站下载）。

3. 安装 IROBOTCAM 软件包（中文版）之前完成以下操作：

- 关闭 ZW3D 软件。

4. 安装 IROBOTCAM 软件包：

- 双击软件包以开始安装过程。
- 按照屏幕上的提示完成安装。

附加注意事项：

- 确保在激活授权时有稳定的互联网连接。
- 安装过程可能会根据您的系统而耗时。
- 如果在安装过程中遇到任何问题，请参阅软件文档或联系软件供应商。

IROBOTCAM 软件包在 ZW3D 2024 版本上的逐步安装说明。

第一步:

- 双击安装包文件 "IROBOTCAM-V1.2-plugins_ch-for-ZW3D2024.exe" 。
- 点击 "下一步" 继续。(图 1-1)。



图 1-1: 安装设置

第二步:

- 仔细阅读许可信息。
- 如果同意条款, 点击 "我接受"。
- 填写个人信息并点击 "下一步" 。（图 1-2)



图 1-2: 许可和用户信息

第三步 (图 1-3):

- 选择 "安装路径"。
- 如果需要更改安装目录, 点击 "浏览" 按钮。
- 点击 "下一步"。
- 选择开始菜单文件夹。

- 点击 "下一步"。



图 1-3: 安装和开始菜单文件夹

第四步 (图 1-4):

- 将显示安装信息的摘要。
- 您可以点击 "返回" 进行更改, 或点击 "安装" 继续。

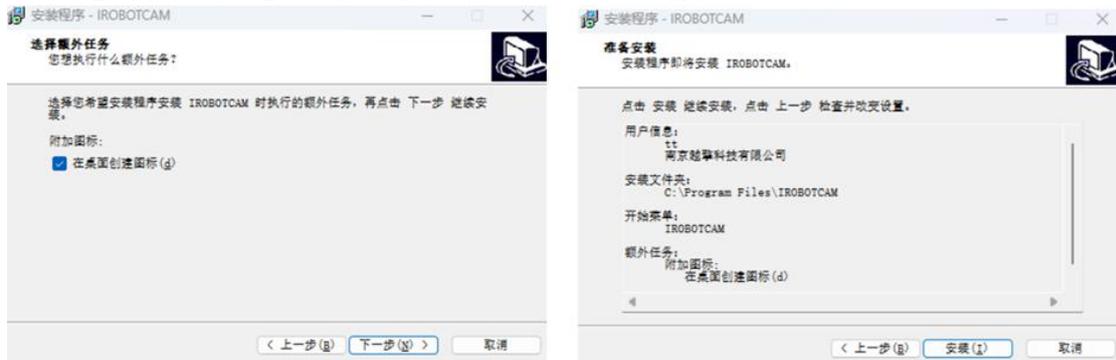


图 1-4: 安装信息

第五步:

- 点击 "完成" 完成安装过程。(图 1-5)



图 1-5: 完成安装

第六步:

- 在安装后首次运行 ZW3D 时，将显示一些默认设置。
- 点击 "是" 或者 "确认"。(图 1-6)

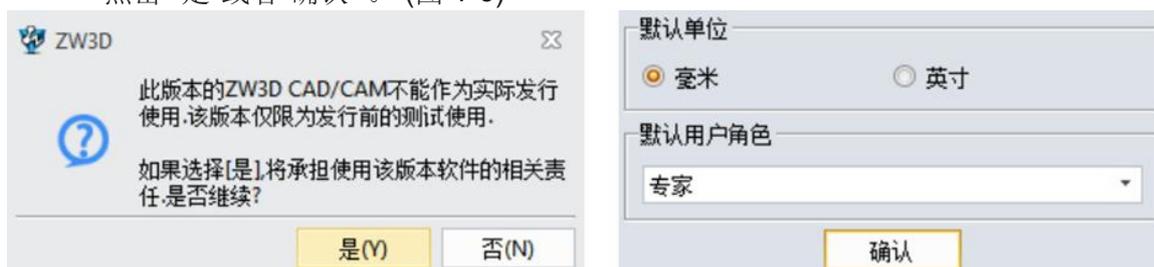


图 1-6: 默认设置

第七步:

- 打开 ZW3D 界面，点击 "IROBOTCAM" 模块。
- 首次安装软件可以无需激活直接试用 30 天。
- 若有激活授权号，可点击 "激活" 以激活插件。(图 1-7)



图 1-7: 激活

第八步:

- 软件包的首次安装提供 30 天的试用期。
- 试用期结束后，您需要使用有效的激活码激活 iRobotCAM 软件包。
- 在 "证书" 窗口中，在 "IROBOTCAM" 状态列下，您将看到当前状态（试用、激活或未激活）。
- 要激活插件，请在 "Key ID" 字段中复制或输入从越擎机器人模块收到的激活码
- 点击 "应用"。
- 如果代码有效，"IROBOTCAM" 的状态将更新为 "已激活"。(图 1-8)

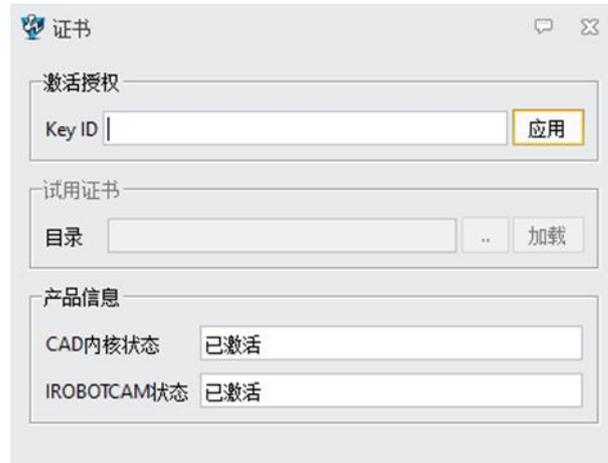


图 1-8：激活授权

第九步：

- 您已成功安装和激活 ZW3D 2024 的 IROBOTCAM 软件包。

注意：

- 激活码中的 "-" 符号很重要，不应省略。
- 如果在安装或激活过程中遇到任何问题，请参阅软件文档或联系软件供应商。



第二章：产品关键特性

iRobotCAM 致力于创建一个开放而综合的数字解决方案平台，与机器人技术相关，专注于生产线机电建模的各个方面。其中包括：

设计理念：

- 协助设计基于机器人的生产线。
- 提供机电概念设计工具

机器人离线编程与仿真：

- 使用户能够编程和模拟机器人加工过程。
- 提供先进功能进行虚拟调试，确保程序开发准确高效。

虚拟调试与实际同步：

- 利用可靠的物理仿真引擎进行逼真的虚拟测试。
- 通过同步虚拟和实际机器人运动实现无缝调试。

过程集成与定制：

- 方便的模块，用于集成各种工业过程。
- 允许创建定制过程模块以满足特定需求。

工业软件平台：

- 利用强大的 ZW3D 平台进行稳健可靠的操作。
- 为机器人焊接、机器人喷涂等提供专业解决方案。

持续改进：

- iRobotCAM 不断发展，以提升工业机器人的能力和应用价值。

优势：

- 生产线设计和开发流程更加简化。
- 提高机器人编程的准确性和效率。
- 降低错误和返工的风险。
- 增强了灵活性和定制选项。

目标用户：



- 从事基于机器人的生产的制造商和工程师。
- 寻求优化机器人过程的公司。
- 工业自动化解决方案的开发者。

2.1 机器人生产线设计

1. 机器人工作站单元设备库，导入来自不同制造商的机器人、工件、工具、附加轴（导轨、变位机、龙门框架等）以及其他相关工作单元（地板、安全栏杆、控制柜等）。
2. 虚拟传感器建模，气缸组件建模，卡爪组件建模，传送带组件建模。
3. 工作单元布局，对导入工作单元的设备的位置布局和位姿关系进行精确控制。

机器人工作站单元设备库:

- **全面的范围:** 库应包含来自各种制造商的广泛设备，包括机器人、工件、工具手、附加轴（导轨、变位机、龙门框架）、地板、安全栏杆、控制柜等相关组件。
- **标准化表达:** 设备应以一致和标准化的格式表示，包括 3D 模型、运动学参数、动态属性和仿真序列。
- **互操作性:** 设备模型应兼容不同的仿真平台和软件工具，以便无缝集成到现有工作流程中。
- **参数化:** 设备模型应以参数化方式定义，允许根据特定应用需求进行定制和适应。
- **搜索和过滤:** 应实施高效的搜索和过滤功能，以使用户能够快速找到并访问所需的设备。

虚拟传感器建模:

- **传感器类型:** 库包括在机器人工作站中常用的各种传感器类型，如力传感器和接近传感器。
- **定制:** 传感器模型应可定制参数，以匹配特定属性。
- **与其他模型的集成:** 传感器模型应能够与机器人工作站内的其他设备模型无缝集成，实现基于传感器的交互的准确模拟。

优势:

- **减少设计时间:** 可以显著减少机器人工作站设计所需的时间和工作量，因为可以访问预建设备模型的全面库。
- **提高设计质量:** 虚拟传感器建模允许早期识别和减轻潜在问题，从而实现更强大可靠的机器人系统。



- **加强协作:** 库可以促进参与机器人工作站开发的工程师、设计师和其他利益相关者之间的协作。
- **成本优化:** 通过减少设计时间和提高设计质量, 库可以在机器人工作站项目的成本优化方面发挥显著作用。

2.2 机电一体化设计与物理仿真

机电一体化设计中的物理仿真, 通过将几何体定义为刚体和碰撞体, 真实地还原几何体的物理特性, 如质量、惯性、摩擦、材料和碰撞, 创建运动副和约束、传感器和执行器、仿真序列以及信号适配器, 从而实现模型的物理仿真。

机电一体化设计物理仿真的关键方面:

- **几何体表示:**
 - ✧ **刚体:** 将每个物理组件建模为刚体和碰撞体, 准确捕捉其质量、惯性和碰撞特性。
 - ✧ **材料特性:** 为每个物体分配真实的材料特性, 包括摩擦系数, 以模拟它们之间的相互作用和行为。
- **运动副和约束:**
 - ✧ **运动副:** 定义两个刚体之间允许的相对运动, 包括关节、齿轮和其他运动连接。
 - ✧ **约束:** 以特定方式限制物体的运动, 将其移动限制在规定的路径或防止不希望的旋转。
- **传感器和执行器:**
 - ✧ **传感器:** 模拟收集有关系统状态的设备, 包括位置、速度和力, 为控制算法提供关键反馈。
 - ✧ **执行器:** 虚拟表示机器人、工具、定位器、气缸或其他机制, 施加力或扭矩以操纵系统组件的运动。
- **仿真序列:**
 - ✧ 定义仿真过程中发生的事件序列, 包括指定初始条件、控制输入和 IO 交互。
- **信号适配器:**
 - ✧ 通过在兼容格式之间转换信号, 例如将模拟传感器数据转换为数字值以进行软件处理, 促进不同组件之间的数据交换。

物理仿真的优势:

- **真实运动预测:** 准确反映组件的物理特性和相互作用, 为系统在各种工作条件下的行为提供有价值的见解。
- **早期设计验证:** 在开发过程的早期阶段识别潜在的设计缺陷和未预料的相互作用, 避免昂贵的物理原型, 节省时间和资源。
- **性能优化:** 允许迭代设计改进和参数调整, 以提高系统性能、效率和稳健性。



- **降低开发成本：**物理仿真可以显著减少对昂贵且耗时的物理原型的需求，简化开发过程。

2.3 离线编程

机器人示教，通过在关节空间执行机器人示教操作。在基坐标系、工具坐标系等笛卡尔空间内。机器人插补算法，包括几种基本的插补算法，如直线、弧线和关节插补。机器人工作仿真运行，实际动画演示过程。

1. 机器人示教：

- **关节空间示教：**通过在程序的每个点上指定所需的关节角度来定义机器人的运动。
- **笛卡尔空间示教：**通过使用虚拟示教盘或其他输入设备直接引导末端执行器沿着所需路径移动来进行机器人示教。
- **坐标系选择：**指定用于示教的坐标系，如基坐标系、工具坐标系或用户定义的坐标系。

2. 机器人插补算法：

- **线性插补：**在编程点之间生成直线运动。
- **圆弧插补：**在编程点之间生成平滑的圆弧运动。
- **关节插补：**生成所有机器人关节的协调运动，以达到所需的末端执行器位置。

3. 机器人操作仿真和动画：

- **模拟机器人的运动：**利用程序路径和插补算法来视觉模拟机器人的运动与环境的交互。
- **动画演示：**创建编程动作的逼真动画，以展示机器人的性能并识别潜在的碰撞或问题。

附加功能：

- **碰撞检测：**在模拟过程中检测机器人与环境之间的潜在碰撞，以便及早识别和纠正潜在问题。
- **程序编辑和优化：**编辑和优化编程路径，以提高机器人运动的效率、准确性和平滑性。
- **程序生成：**基于模拟程序生成机器人程序代码，支持各种机器人控制器语言。
- **与 CAD/CAM 软件集成：**从 CAD/CAM 软件导入和导出机器人和工作单元的 3D 模型，增强模拟逼真度。

离线编程的优势：



- **缩短编程时间：**在没有实际机器人的情况下开发和测试机器人程序，显著缩短编程时间和工作量。
- **提高程序准确性：**事先模拟程序，以在部署之前识别和纠正错误，从而产生更准确和可靠的程序。
- **提高效率：**简化机器人编程过程，并优化机器人运动，以提高性能和效率。
- **减少停机时间：**在不影响实际操作的情况下，通过离线测试和调试程序来避免生产中断。
- **提高安全性：**在机器人在真实环境中操作之前，通过虚拟仿真识别潜在的安全隐患，确保安全的工作环境。

2.4 机器人虚拟调试

配备虚拟调试和监控功能，能够同步虚拟机器人系统工作站与实际机器人系统工作站的操作；支持多机器 IO 通信模拟、多机器人同步和多轴机器人联动规划。

1. 与真实机器人系统的同步：

- 连接虚拟机器人系统和实际机器人系统，实现在两个环境中程序的同步执行。

2. 多机器 IO 通信模拟：

- 模拟涉及机器人系统的多台机器之间的通信，包括控制器、传感器和执行器。
- 测试和调试程序与各种 IO 设备的交互，确保正确的数据交换和通信协议。

3. 多机器人同步：

- 模拟在同一环境中运行的多个机器人的协调运动。
- 分析潜在的碰撞、协调问题，并优化机器人路径，确保平稳高效的协作。

4. 多轴机器人联动规划：

- 模拟具有多轴的机器人的同步运动，如关节臂或龙门机器人。
- 验证程序控制复杂机器人运动学的能力，确保准确协调的运动。

机器人虚拟调试的优势：

- **早期错误识别：**在仿真过程中实时识别和纠正程序错误，显著减少调试时间和工作量。
- **加强程序健壮性：**在各种模拟条件和场景下测试程序，确保其在实际情况下的稳健性和适应性。
- **提高系统集成：**验证机器人与系统中其他机器之间的交互和通信，促进更顺畅的集成和部署。



- **减少停机时间：**消除在实际机器人上重复测试和调试的需要，最小化停机时间和生产中断。
- **加强安全性：**在机器人在真实环境中操作之前，在虚拟环境中识别和缓解潜在的安全风险，确保安全的工作环境。



第三章：iRobotCAM 用户界面

软件启动界面用户可以创建新项目或打开现有项目。此外，它提供了激活 iRobotCAM 的选项（图 3-1）。

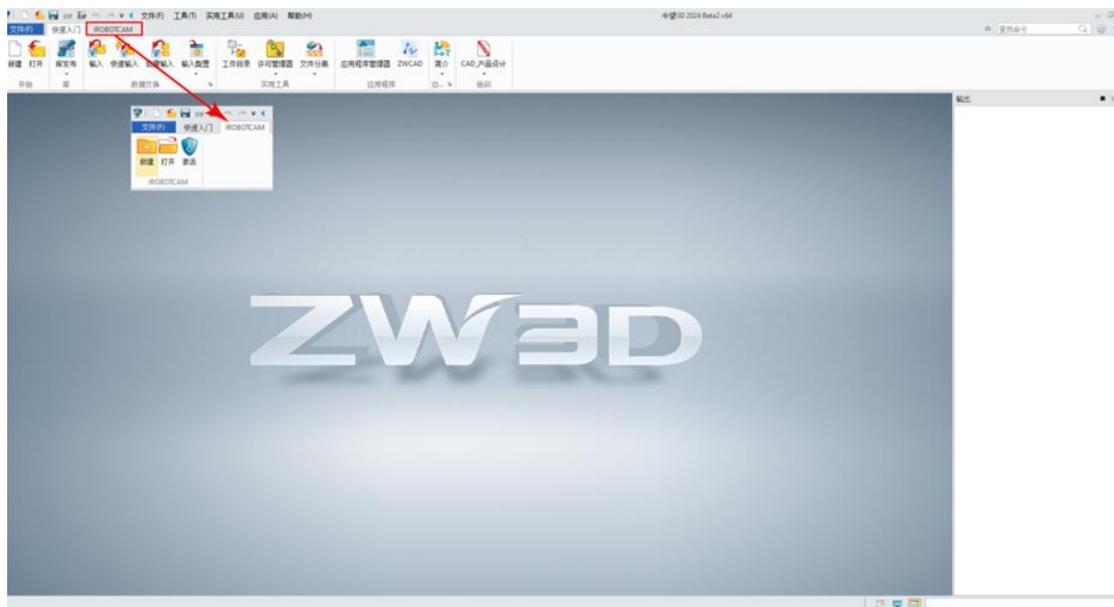


图 3-1：iRobotCAM 用户界面

3.1 新建工程文件

在 "IROBOTCAM" 模块下，点击 "新建" 以 "新建工程文件"（图 3-2）。

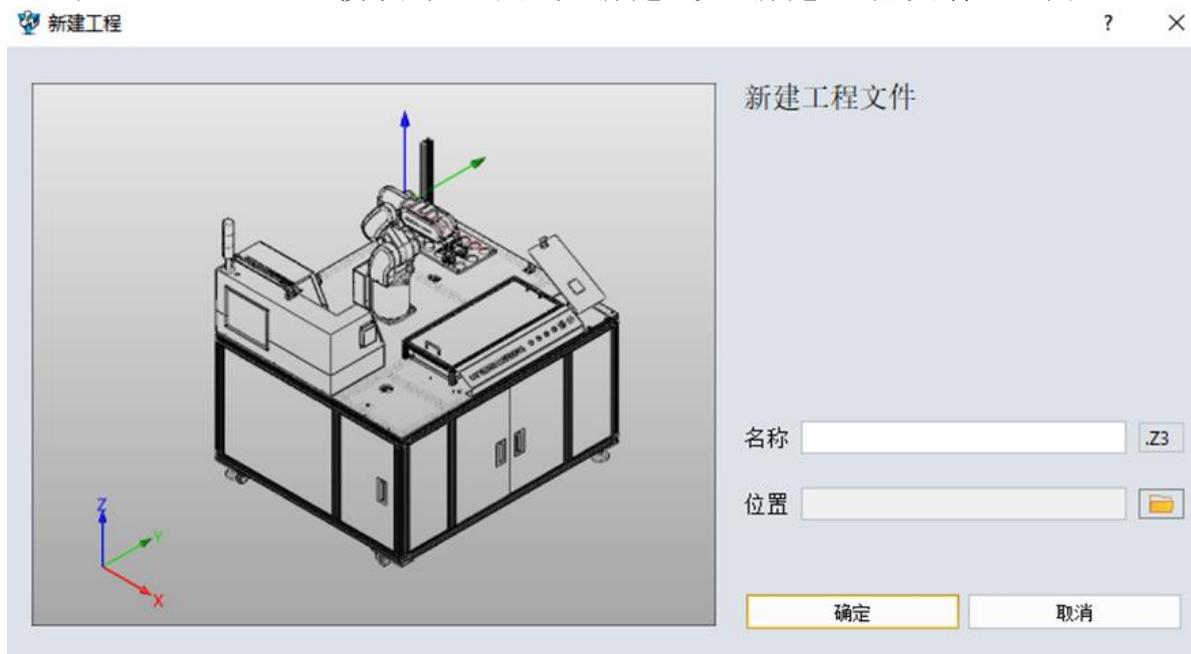


图 3-2：新建工程文件

3.2 组件库

在"IROBOTCAM"工具栏中，位于最左侧的第一个位置（图 3-3）。



图 3-3：组件库位置

组件库提供了大量预构建的机器人模型和工具，按照分类方便访问。用户可以浏览库，并将所需机器人型号轻松地导入到其项目中（图 3-4）。



图 3-4：模型库

3.3 机电建模

这部分构成了 iRobotCAM 的核心，包含了一系列用于构建逼真和功能齐全的机电建模。（图 3-5）。

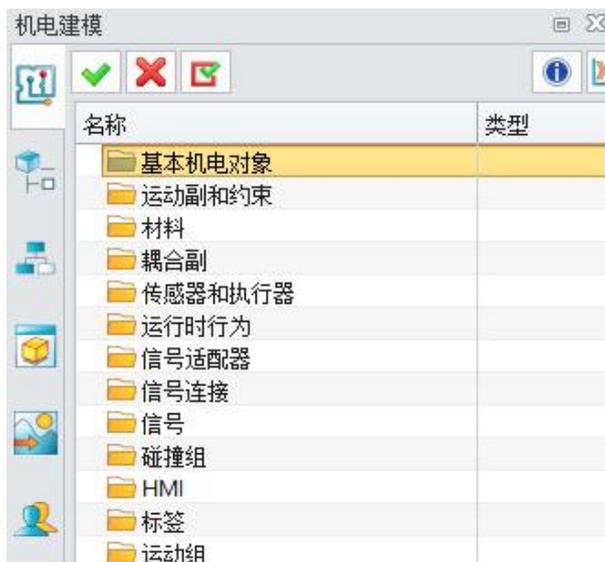


图 3-5: 机电建模

- **刚体:** 它可以使几何对象在物理系统的控制下移动，只有在添加刚体组件时，几何对象才会受到重力或其他力的影响。
- **物理属性:** 使刚体具有质量效应并对力做出响应。
- **碰撞响应:** 在任务处理期间与环境或其他对象的碰撞。
- **支持感知:** 对象支持被感知（图 3-6）。



图 3-6: 刚体

- **碰撞体**：碰撞体是一种只有在与刚体一起添加到几何对象时才能触发碰撞的物理组件。它定义了组件与其他碰撞组件之间的碰撞模式。在物理模拟中，没有碰撞体的刚体会互相穿过。
- **碰撞形状**：凸包计算速度快，可以包络，但精度可能稍差。凸分解被分解为许多小包络以适应模型，凸分解的时间较慢但非常精确。
- **材料**：定义碰撞中材料的基本特性（图 3-7）。



图 3-7：碰撞体

- **铰链副**：在两个对象之间建立运动副，允许绕某个轴旋转的自由度。
- **父节点**：选择连接到连接器的另一个碰撞体。
- **子节点**：选择需要添加铰链约束的刚体。
- **指定轴矢量**：指定旋转轴，起始角度：模拟开始前连接器相对于基本组件的角度（图 3-8）。



图 3-8: 铰链副

- **滑动副:** 由两个组件组成的关节，它们只能相对于彼此在某个方向上移动，并且在翻译方向上有一个自由度。
- **偏置值:** 模拟开始前连接器与基本组件之间的距离（图 3-9）。



图 3-9: 滑动副

- **材料:** 输入碰撞材料的摩擦系数和恢复系数, 使对象具有摩擦力, 可以更生动地模拟对象的仿真形态 (图 3-10)。
- **密度:** 密度值越大他的组件质量相对较大。



图 3-10: 材料

- **传感器：**使用碰撞传感器收集碰撞事件。碰撞形状的大小：长度、高度和宽度取决于碰撞形状的类型（图 3-11）。



图 3-11：传感器

- **传送面：**将选定的平面转换为传送带的物理属性。指定矢量：指定传送带的传送方向。轴矢量：指定传输方向的速度大小。（图 3-12）。



图 3-12：传送带

- **位置控制：**命令创建一个驱动由运动副定义的轴以恒定速度移动到预定位置的执行器。

轴类型-气缸-角路径选项：用于定义轴运动副的旋转方案。

目标：指定目标位置。

速度：指定恒定速度。

基座标：由机器人基坐标位置组成，是机器人其他坐标系的基础（图 3-13）。



图 3-13：位置控制

添加关节运动副、基准坐标、法兰坐标、机器人参数等以创建机器人（图 3-14）。

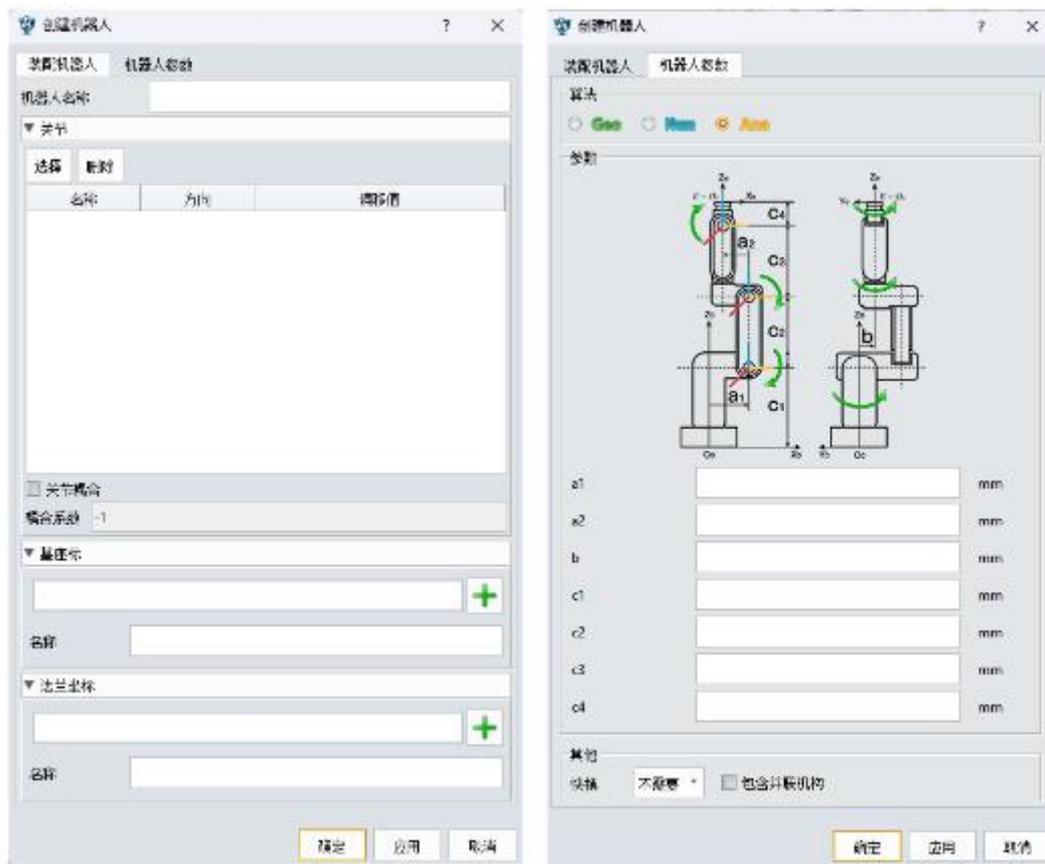


图 3-14: 创建机器人

选择关节位置，添加外部数据、最大加速度、最大加速度、基准坐标和工具中心坐标以创建机器人工具（图 3-15）。



图 3-15: 机器人工具参数界面

添加阵列运动单元，选择基本对象、阵列元素，添加速度，并模拟传送带操作（图 3-16）。



图 3-16: 阵列运动单元参数界面

添加外部轴以允许机器人在其上移动，选择关节、基准、基准坐标和法兰坐标（图 3-17）。



图 3-17：外部轴

添加关节位置，选择运动副、输入类型和速度，并建立内部信号（图 3-18）。



图 3-18：关节位置

物料生产单元： 使用物料在特定时间间隔内创建具有相同外观和属性的多个对象（图 3-19）。



图 3-19: 物料生产单元

仿真序列: 它是逻辑控制和模拟验证的快捷方式, 可以将各种执行器与传感器关联起来以实现逻辑控制 (图 3-20)。



图 3-20: 仿真序列

信号适配器: 使用其命令封装运行时公式和信号, 这些命令包含在"机电建模"窗口信号下, 创建可用于连接外部信号的信号对象。

公式: 将在公式框中显示的公式分配给所选信号 (图 3-21)。

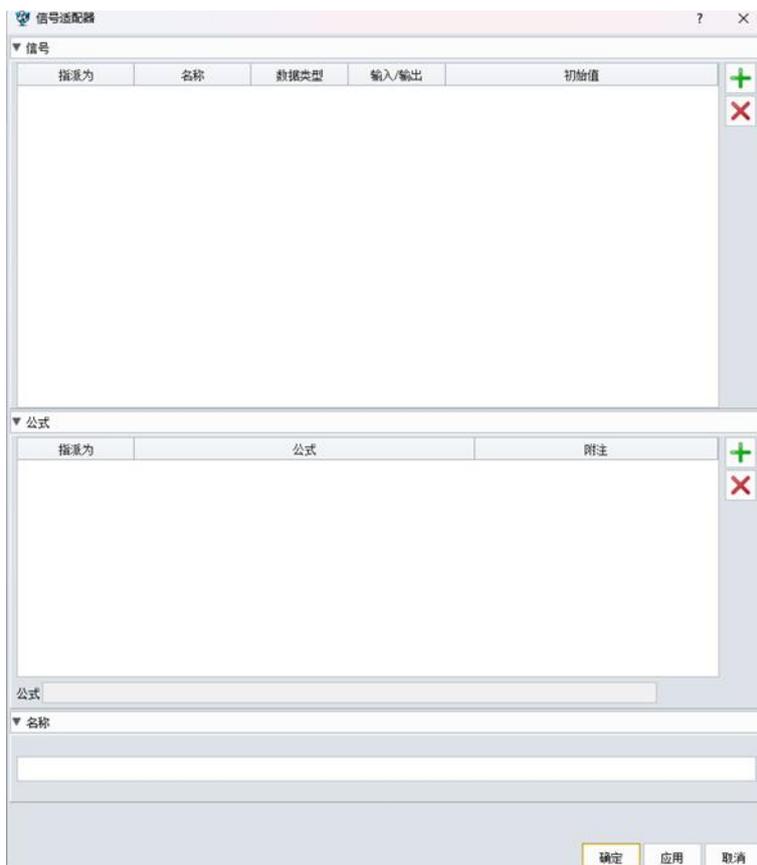


图 3-21：信号适配器

信号连接：将内部信号与外部信号连接，并通过外部设备上的外部信号控制内部信号，以查看机器人的仿真效果（图 3-22）。

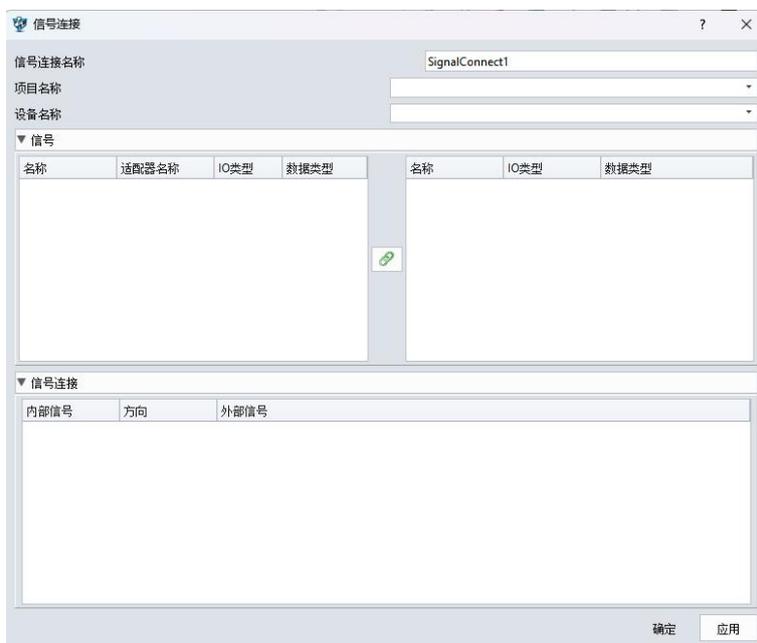


图 3-22：信号连接

信号：分为输出信号和输入信号，创建不同的信号以生成机器人的不同仿真运动形式（图 3-23）。



图 3-23: 信号

标签: 通过添加标签，可以组装父级和子级组件。

父标签: 从标签类型下拉列表中选择父标签，并分别为父组件和子组件选择相应的刚体（图 3-24）。



图 3-24: 父标签

子标签: 在标签类型下选择子标签，并在父标签框中的下拉列表中选择已经创建的父标签（图 3-25）。



图 3-25: 子标签

运动组:

选择计算方式以及相关参数，填写基座标和法兰坐标来创建运动组。



3.4 甘特图

在添加仿真序列后，进行仿真验证，实时序列时间将显示在甘特图中（图 3-26）。

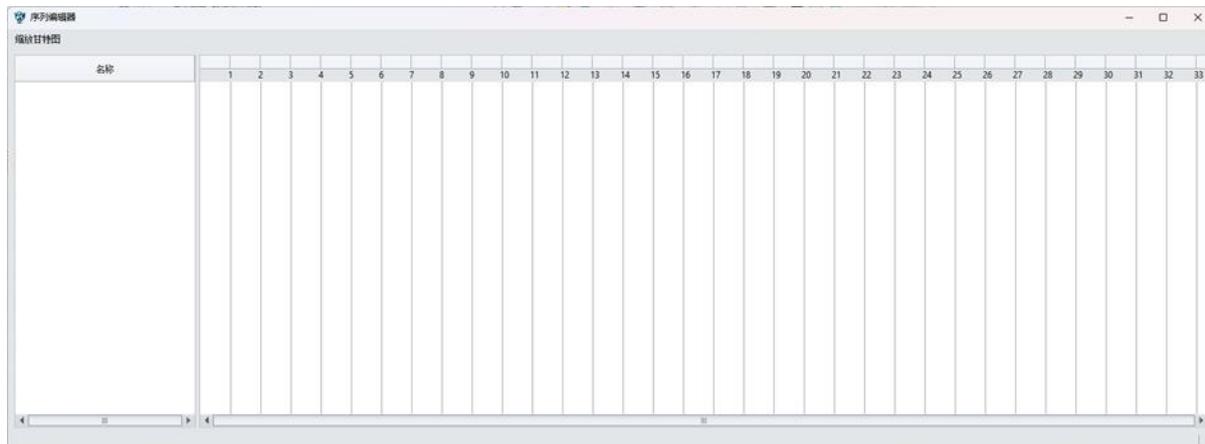


图 3-26: 甘特图

3.5 装配关系

添加装配关系，选择子设备安装在特定设备上，并调整位姿以确保子设备与设备之间的紧密连接（图 3-27）。



图 3-27: 装配关系

3.6 示教编程

在 3D 模型的基础上操控机器人的直角空间和关节空间，并添加标记点。

添加标记点划分为两种标记方式（记录关节值和记录末端值）。（此方法有效避免了用户在 1.0 版本出现同一个点标记两种不同的指令的问题）

记录关节值（JPOS）可以用来标记走关节的指令。比如 MOVJ 等

记录末端值（CPOS）可以用来标记走直线走圆弧等指令。比如 MOVL、MOVA 等指令。（图 3-28）



图 3-28: 示教

3.7 碰撞检测

通过添加碰撞组和碰撞对，可以看到机器人与物体之间的碰撞检测，被突出显示（图 3-29）。



图 3-29: 碰撞检测

3.8 程序编辑

在“程序编辑”窗口中，添加一个 JOB 程序，添加 program1 程序，然后右键单击编辑程序（图 3-30）

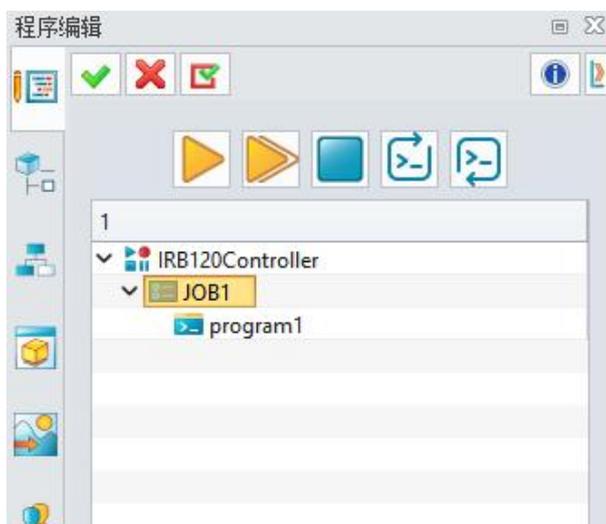


图 3-30: 编程

在“程序参数”窗口中，执行添加命令（图 3-31）。



图 3-31：程序参数

通过添加指令来控制机器人的运动。程序指令分为以下几类：

系统指令：

1. NOP（空指令，无操作执行）
2. END（程序结束指令，程序运行到此处停止，即使有剩余指令也将不再运行）
3. WAIT（系统等待指令，单位：毫秒）
4. SPEED
5. PAUSE（系统停止指令，程序运行到此指令时系统停止不再运行）（图 3-32）。



3-32: 系统指令

运动指令：MOVJ、MOVL、MOVA、MOVC 等（图 3-33）

注意：每个 LOC 点只能使用一个运动指令，否则可能导致机器人运动轨迹错误；如果需要多次使用同一点，请使用不同的名称多次标记。



图 3-33：运动指令

(1) HOME:

- **功能：** 使用关节插补运动将机器人返回零点；
- **格式：** 简单点击 HOME 按钮；
- **说明：** 在使用 HOME 时，只能直接添加，不能通过插入指令添加运动指令；

(2) MOVJ:

- **功能：** 通过关节插补将机器人移动到目标点；
- **格式：** MOVJ {LOC (目标点), VEL [] (速度), ACC [] (加速度), JERK [] (加速度)};
- **说明：** VEL 的单位为 $^{\circ}/s$ ；ACC 和 JERK 都使用百分比形式，输入范围为正数。如果小于或等于 0，将报告错误；（图 3-34）



图 3-34：MOVJ

(3) MOVL:

- **功能：** 通过线性插补将机器人移动到目标点；
- **格式：** MOVL {LOC (目标点), VEL [] (速度), ACC [] (加速度), JERK [] (加速度)};
- **说明：** VEL 的单位为 m/s；ACC 和 JERK 都使用百分比形式，输入范围为正数。如果小于或等于 0，将报告错误；（图 3-35）。



图 3-35: MOVL

(4) MOVA:

- **功能:** 圆弧插补运动模式通过中间点到目标点;
- **格式:** MOVA {LOC1 (目标点), LOC2 (中间点), VEL [] (速度), ACC [] (加速度), JERK [] (加速度)};
- **说明:** VEL 的单位为 m/s; ACC 和 JERK 都使用百分比形式, 输入范围为正数。如果小于或等于 0, 将报告错误; (图 3-36)



图 3-36: MOVA

(5) MOVC:

- **功能:** 沿当前点、目标点和中间点进行圆弧插补运动, 形成一个圆, 然后返回到当前位置。在移动时, 它首先通过目标点, 然后通过中间点;
- **格式:** MOVC {LOC1 (目标点), LOC2 (中间点), VEL [] (速度), ACC [] (加速度), JERK [] (加速度)};
- **说明:** VEL 的单位为 m/s; ACC 和 JERK 都使用百分比形式, 输入范围为正数。如果小于或等于 0, 将报告错误; (图 3-37)



图 3-37: MOVC

(6) MOVS:

- **功能:** 通过样条插补运动将机器人移动到目标点;
- **格式:** MOVS {LOC1 (目标点), LOC2 (过渡点), VEL [] (速度), ACC [] (加速度), JERK [] (加速度)}; (图 3-38)



图 3-38: MOVS

控制指令 (图 3-39):

- FLYBY # ON: 平滑过渡打开指令;
- FLYBY # OFF: 平滑过渡关闭指令;
- LOOP: 循环开始指令, 此指令后设置 END_LOOP 指令的局部循环次数, 与 END_LOOP 结合使用;
- END_LOOP: 循环束指令, 与 LOOP 成对使用;
- WHILE: While 循环开始指令, 参数是循环开始条件, 是一个条件判断语句, 与 END_WHILE 结合使用;
- END_WHILE: WHILE 循环内容结束指令, 与 WHILE 结合使用;
- IF: 选择结构指令, 参数是条件语句, IF 后的指令是满足条件并可执行的指令, 直到遇到 ELSE、ELSE_IF 或 END_IF 结束分支内容;

- **ELSE:** IF 或 ELSE_IF 语句的另一个选择分支，以 END_IF 作为分支语句的结束；
- **ELSE_IF:** 用于多分支结构中的分支开始指令，以 ELSE 作为分支语句的结束；
- **END_IF:** 用于所有条件语句的结束，与 IF 成对使用；
- **LABEL:** 在指定位置构建一个标签，可与 GOTO 指令一起使用以调整指令流程；
- **GOTO:** 跳转到由 LABEL 标记的指令位置开始执行，通常不会跳转到前一个标签，这样容易形成死循环；



图 3-39: 控制指令

IO 指令（图 3-40）：

- **DIN:** 数字输入，将指定端口号的信号读入 BOOL 类型变量；
- **DOUT:** 数字输出，根据读取的信号对控制器进行不同的响应；



图 3-40: IO 指令

3.9 URDF 导入与导出

URDF 是一种基于 XML 规范的格式，用于描述机器人的结构，主要用于定义机器人的结构，包括机器人的组件及其之间的关系。URDF 文件可用于在 ROS（机器人操作系统）中进行机器人的仿真、可视化和分析，以描述机器人组件之间的关系（图 3-41）。



图 3-41: 导入与导出

导入 URDF: 选择文件存储路径，然后点击“确定”（图 3-42）。



图 3-42: 导入 URDF

导出 URDF: 在设备栏中, 点击“+”按钮, 在组件关系栏中选择要导出的机器人, 选择存储路径, 然后点击“确定”(图 3-43)。



图 3-43: 导出 URDF

3.10 工作空间

在 IROBOTCAM 状态栏中, 点击工作空间按钮(见图 3-44)。



图 3-44: 工作空间

在机电建模栏中, 点击碰撞组, 在碰撞组窗口中为机器人的关节创建碰撞组。机器人的各关节碰撞体需勾选支持感应。点击工作空间, 选择工作空间参数中的控制器, 并通过修改空间点密度来调整检测机器人可能发生碰撞的感应范围(图 3-45)。



图 3-45: 工作空间窗口

3.11 欧拉角

- 欧拉角是用来唯一地确定定点转动刚体位置的三个一组独立角参量。(图 3-46)



图 3-46: 欧拉角

3.12 通信模块

- 通过添加设备、访问设备服务器，并通过服务器的外部信号控制内部信号，逐步实现通信功能(图 3-47)。

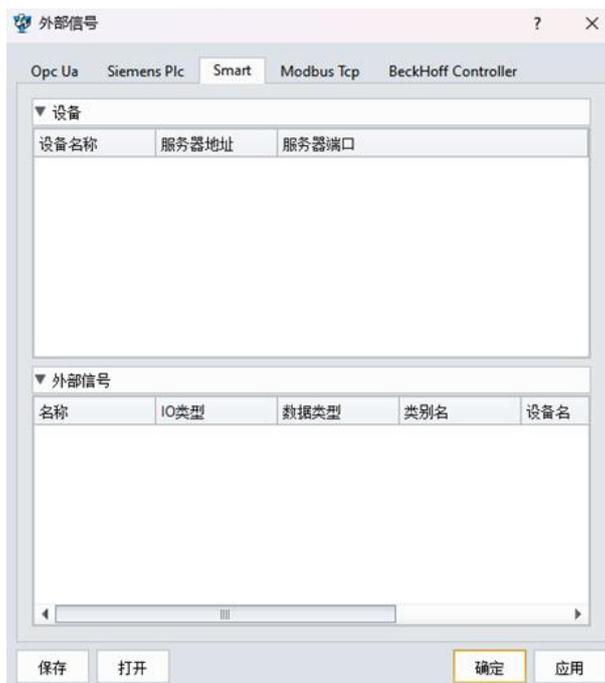


图 3-47：通信模块

3.13 仿真验证

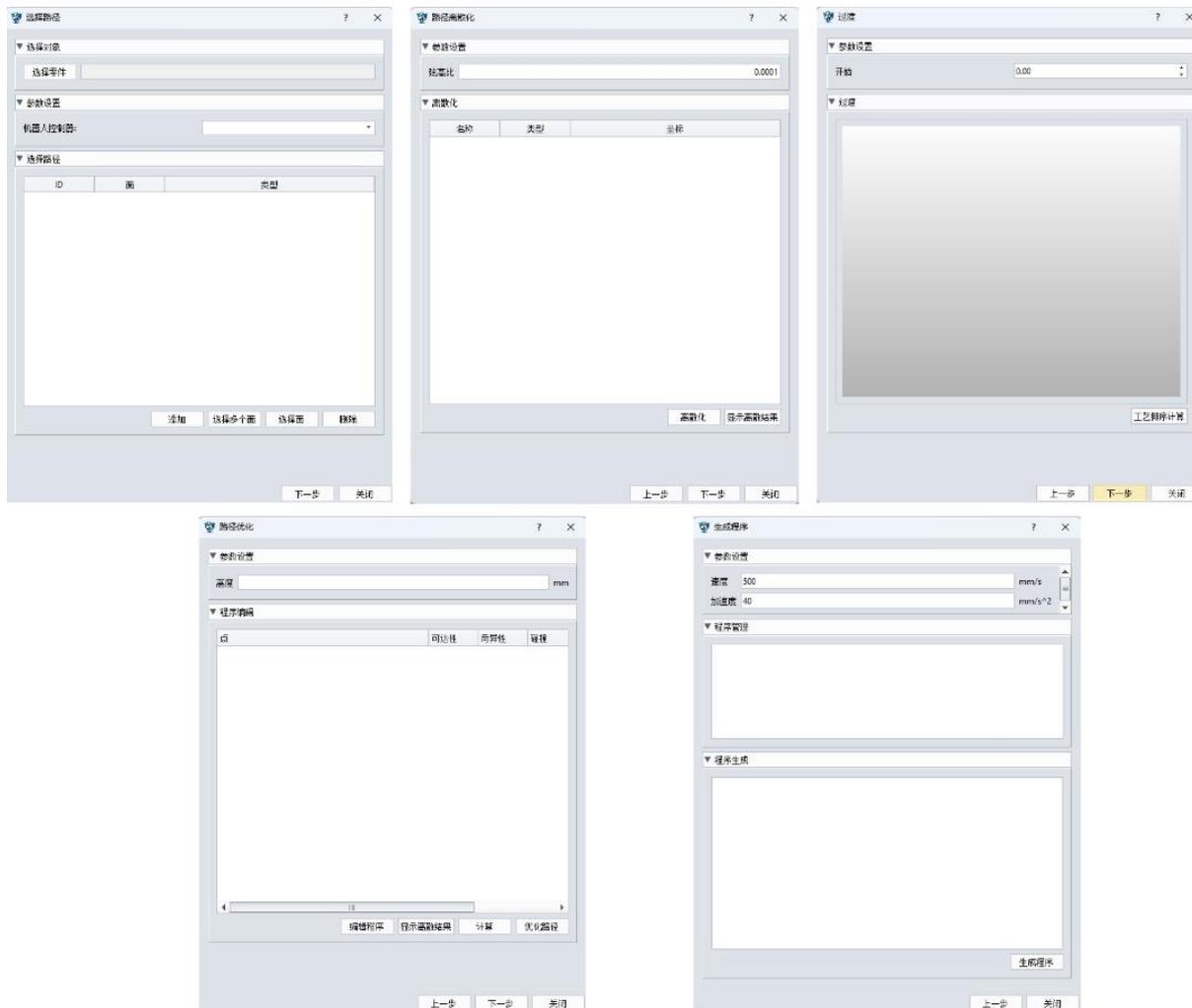
- 编程后，可以进行仿真验证以展示机器人的运动轨迹。
- 切换到实时模式进行机电运动仿真模拟。（图 3-48）。



图 3-48：仿真验证

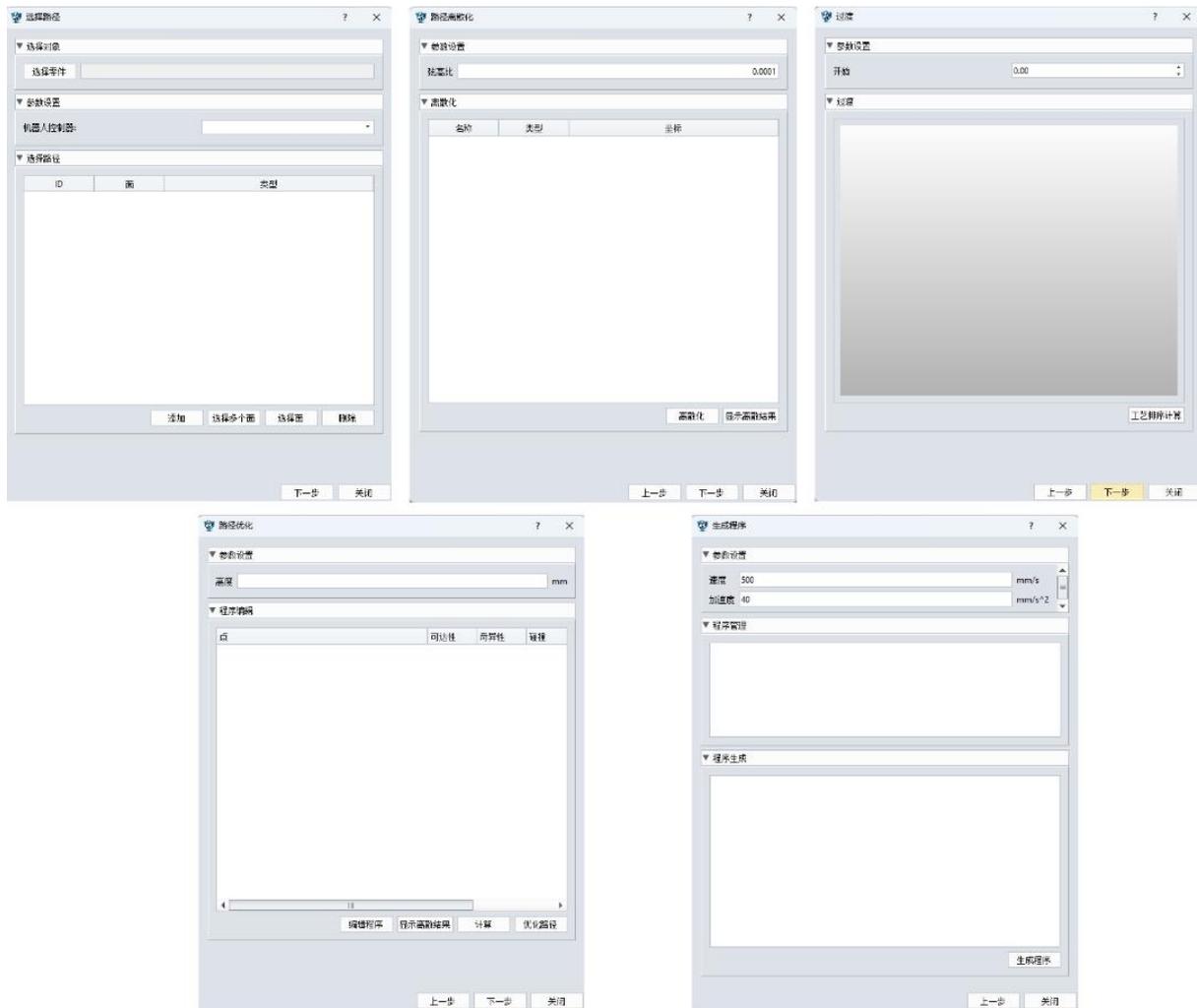
3.14 激光切割

- 激光切割功能通过点击“下一步”，由多个窗口组成的功能模块。
- 步骤顺序：选择路径-路径离散化-过渡点排序-路径优化-生成程序。
- 具体操作步骤介绍参考应用案例。



3.15 焊接

- 焊接功能通过点击“下一步”，由多个窗口组成的功能模块。
- 步骤顺序：选择路径-路径离散化-过渡点排序-路径优化-生成程序。
- 具体操作步骤介绍参考应用案例。



3.16 屏幕录制功能

- 点击“IROBOTCAM”选项卡中的仿真按钮，以打开“仿真”界面。
- 勾选开始视频录制，然后点击“仿真”窗口左侧的启动仿真按钮开始录制。
- 等待机器运行整个过程，最后点击“仿真”窗口右侧的结束仿真按钮结束录制。
- 视频录制完成。（图 3-49）



图 3-49: 屏幕录制功能

注意:

- 视频录制存储位置: 打开 ZW3D 2024 软件的安装位置, 拉起以查看视频录制文件, 点击视频 MP4 文件, 您将看到整个机器人操作过程 (见图 3-50)。
- 如果屏幕录制功能的文件不存在, 您需要以管理员权限运行 ZW3D。

名称	修改日期	类型	大小
amrecorder.mp4	2023/5/21 11:09	MP4 文件	2,895 KB
icoma.exe	2023/5/21 10:49	Microsoft Edge ...	3 KB
amrecorder.log	2023/5/21 11:09	文本文件	1,429 KB
icoma.log	2023/5/21 10:49	文本文件	10 KB
recorder.dll	2023/5/29 18:52	应用程序扩展	181 KB
ledbar.dll	2023/12/1 16:49	应用程序扩展	1,488 KB
portaudio_x64.dll	2022/1/11 11:25	应用程序扩展	247 KB
qsicmd2_x64.dll	2022/6/21 10:58	应用程序扩展	1,943 KB
productinfo	2022/7/25 10:41	文件	1 KB
ispacm.exe	2022/7/20 15:10	应用程序	49 KB
gl-idebugger.dll	2022/7/20 15:10	应用程序扩展	1,370 KB
logging.dll	2022/7/20 15:10	应用程序扩展	124 KB
zJThumbnail_x64.dll	2022/7/20 15:10	应用程序扩展	708 KB
trc.exe	2022/7/20 15:10	应用程序	29 KB
zw3d.exe	2022/7/20 15:10	应用程序扩展	26,129 KB
zw3d.exe	2022/7/20 15:10	应用程序	493 KB
ZW3D.lib	2022/7/20 15:10	Object File Library	378 KB
ZW3D_base.dll	2022/7/20 15:10	应用程序扩展	194 KB
ZW3D_base.dll	2022/7/20 15:10	应用程序扩展	211 KB
ZW3D_cam.dll	2022/7/20 15:10	应用程序扩展	4,478 KB
ZW3D_CamDx.dll	2022/7/20 15:10	应用程序扩展	1,070 KB

图 3-50: 视频录制存储位置

第四章：注意事项与保存

IROBOTCAM 用户界面：注意事项与保存

1. 快捷键：

- 在 IROBOTCAM 选项卡内，使用其功能时，某些快捷键不可用的，包括常见的快捷键如 Ctrl+S（保存）、Ctrl+Z（撤销）、Ctrl+X（剪切）、Ctrl+C（复制）和 Ctrl+V（粘贴）。

2. 保存：

- 指导用户使用保存按钮保存 IROBOTCAM 数据内容”，然后是保存文件数据内容。

附加信息

- 鼓励用户探索其他保存文件数据的方法，为了更全面地了解 IROBOTCAM 的存储功能。

注意：

- 在 IROBOTCAM 模块中，该保存按钮保存 IROBOTCAM 数据的内容。
- 该保存按钮不保存文件数据内容（图 4-1）。



图 4-1：保存

点击 IROBOTCAM 下的保存按钮后，将弹出保存进度条。保存成功后，右侧的输出框将显示“保存 IROBOTCAM 数据成功”的字样（图 4-2）。

注意：在保存文件之前,要在仿真关闭和程序编辑结束运行的情况下进行保存，否则保存进度条会一直加载。

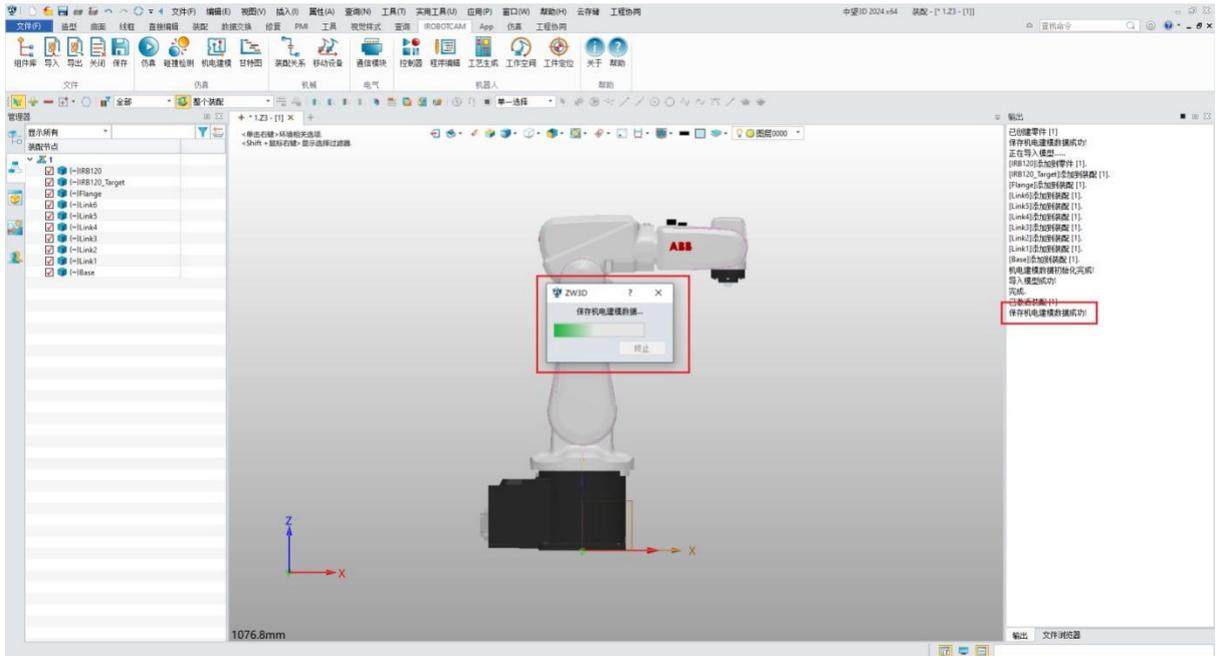


图 4-2：输出框

保存文件：有两种保存方法：一种是覆盖原始导入的文件并保存，另一种是将其保存为新文件。

- **覆盖原始文件：**在“IROBOTCAM”中，点击界面左上角的保存按钮，以覆盖原始文件并保存（图 4-3）。



图 4-3：关闭窗口

- **另存为新文件：**成功点击“保存”按钮后，点击工具栏上的“文件”按钮（图 4-4）。



图 4-4：文件按钮

在“文件框”下点击保存，并在右侧的框中选择“另存为”选项（图 4-5）（保存是否成功将在右侧的输出框中以文本形式显示）。



图 4-5: 另存为

1. 案例文件存储位置:

在安装 ZW3D 2024 软件的目录中，点击以下路径，在 IROBOTCAM 文件夹的 example 文件夹和 help 文件夹中，包含项目案例和用户手册的 PDF 版本（图 4-6）。

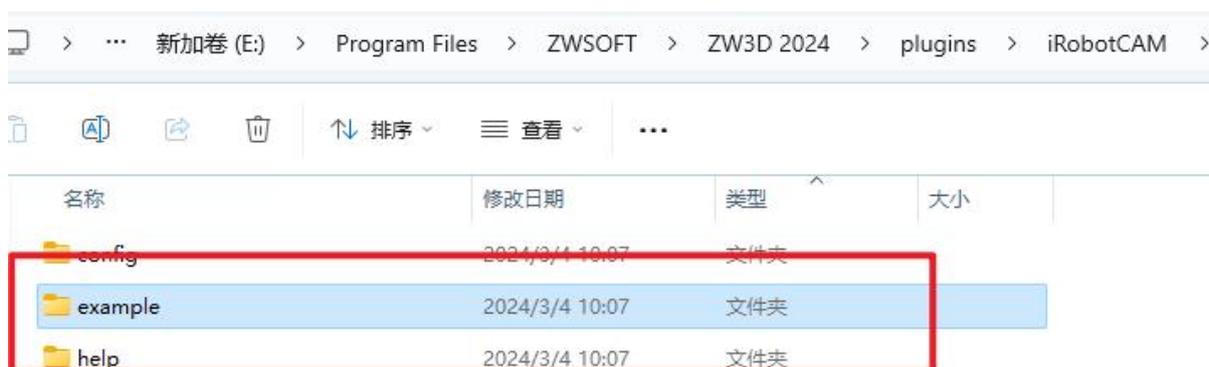


图 4-6: 示例

在软件界面上查找用户手册的位置：进入“IROBOTCAM”选项卡，点击最右侧的帮助按钮，弹出用户手册的 PDF 版本（图 4-7）。



图 4-7: 帮助按钮

2. 进入 IROBOTCAM 模块的入口:

在启动界面上，紧邻“快速开始”，点击 IROBOTCAM 模块，其中包括新建、打开和激活按钮。

新建: 可创建新的项目文件（图 4-8）。



图 4-8: 打开按钮

打开: 点击打开按钮以打开相应的 Z3 文件。注意: 在 IROBOTCAM 模块中创建的 Z3 文件必须从此窗口打开, 以便具有相关的 IROBOTCAM 模块内容。(图 4-9)

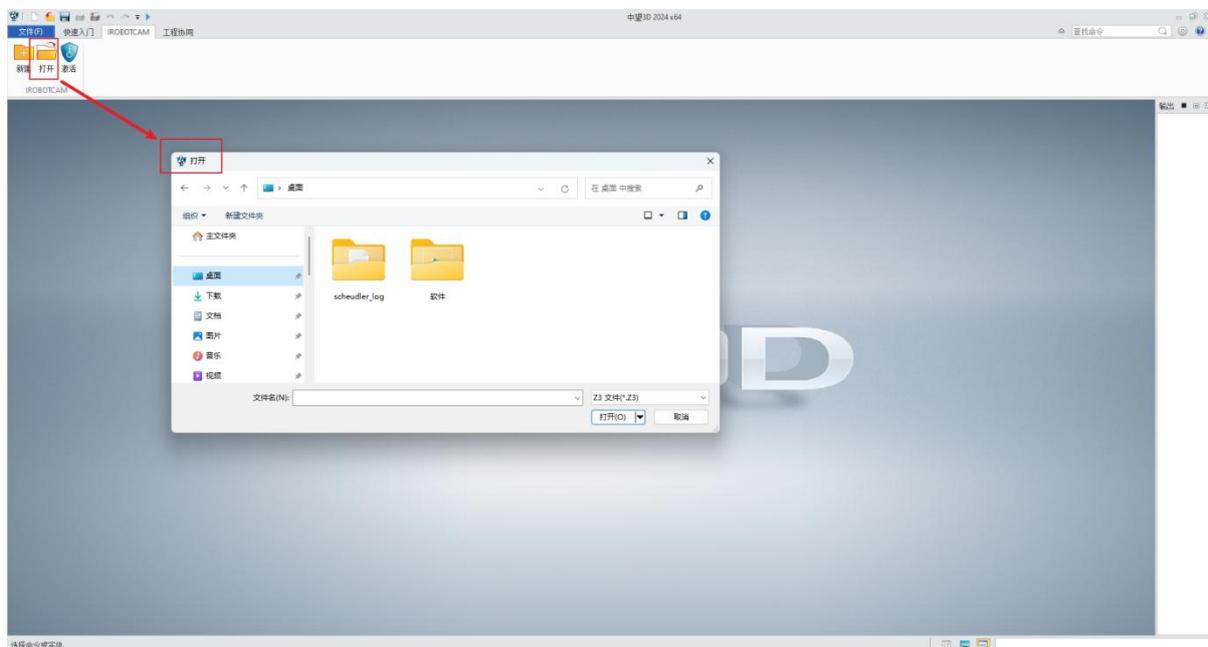


图 4-9: 打开

激活: 您可以查看软件包的产品用户手册

- **激活授权:** 填写激活码条目, 点击应用按钮, 输出框将提示激活是否成功。
- **产品信息:** CAD 内核状态表示 ZW3D 的状态, 分为三种状态: 未激活、试用和已激活。
- **iRobotCAM 状态:** 还包括三种状态: 未激活、试用和已激活。当显示未激活时, 表示软件的 30 天试用期已结束。输出框中有相关提示。(图 4-10)



图 4-10：证书

第五章：定义基本机电对象

本指南提供在 IROBOTCAM 软件中定义基本机电对象的逐步说明。（图 5-1）

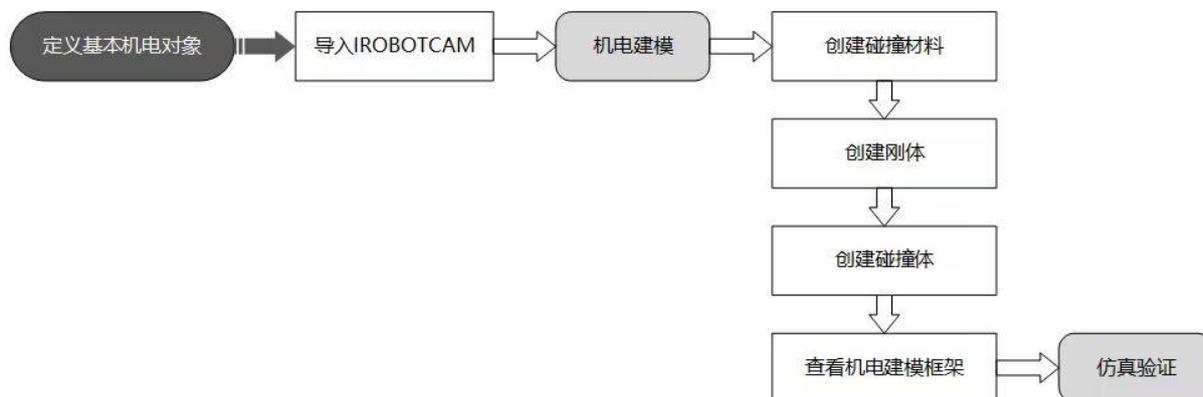


图 5-1：定义基本机电对象的流程图

注意：与以前相比，软件界面有所改进，在材质窗口中添加了密度参数设置，并删除了刚体和碰撞体窗口中的质量设置。用户可以在创作过程中注意材料、刚体和碰撞体窗的变化。

当用户创建其他案例时，由于其他案例图像或视频的变化，可能无法及时更新。用户在使用软件时应注意这个问题。谢谢

第 1 步：打开 iRobotCAM 项目文件

- 打开名为“定义基本机电对象.Z3”的 iRobotCAM 项目文件以进入 IROBOTCAM 环境。（图 5-2）



图 5-2：IROBOTCAM 环境入口

- 会出现一个弹出窗口。双击“test”打开装配。（图 5-3）



图 5-3: 模型管理器

- 界面将显示三个组件。(图 5-4)

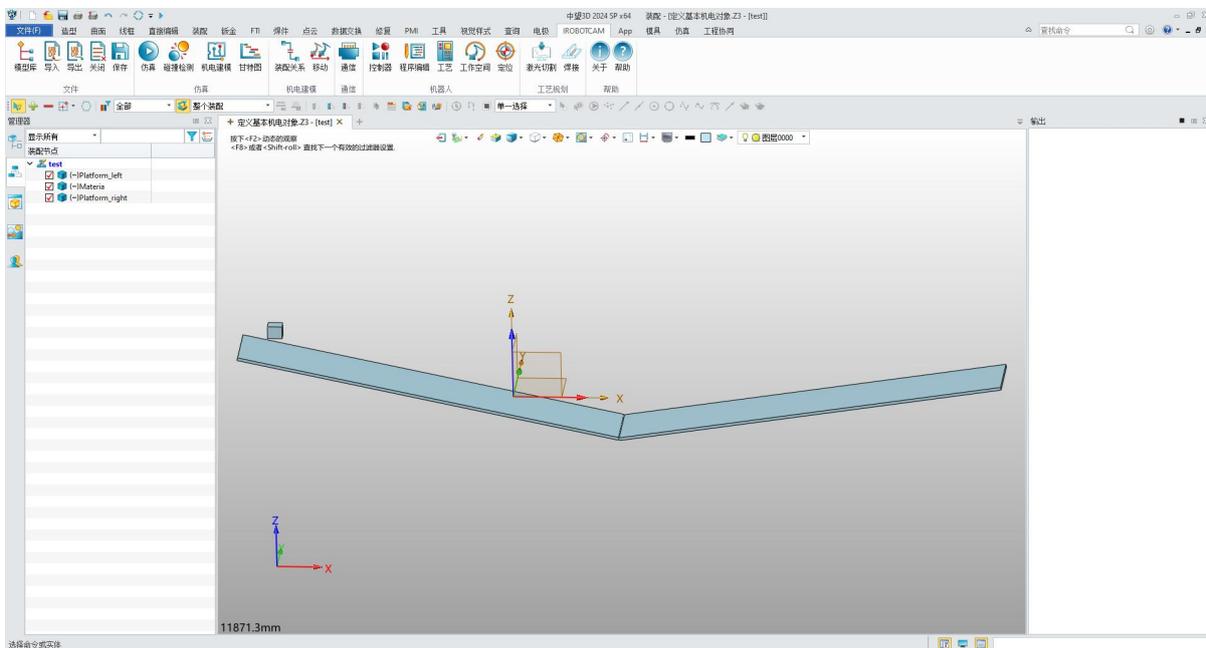


图 5-4: 组件详情

第 2 步: 创建材料

- 单击“IROBOTCAM”进入机电建模界面。(图 5-5)

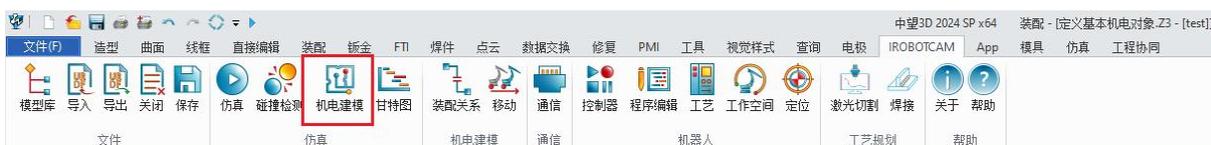


图 5-5: 机电建模

- 右键单击材料并选择“添加材料”。(图 5-6)

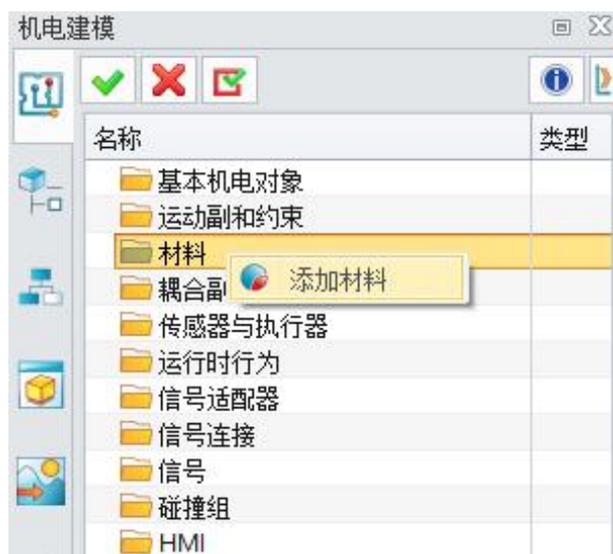


图 5-6: 添加材料

- 为两个平台创建一个名为“m1”的新材料。(图 5-7)



图 5-7: 材料 m1

- 为其余组件创建另一个名为“m2”的材料。(图 5-8)



图 5-8: 材料 m2

第 3 步: 创建刚体

- 右键单击“基本机电对象”，然后选择“添加刚体”。(图 5-9)

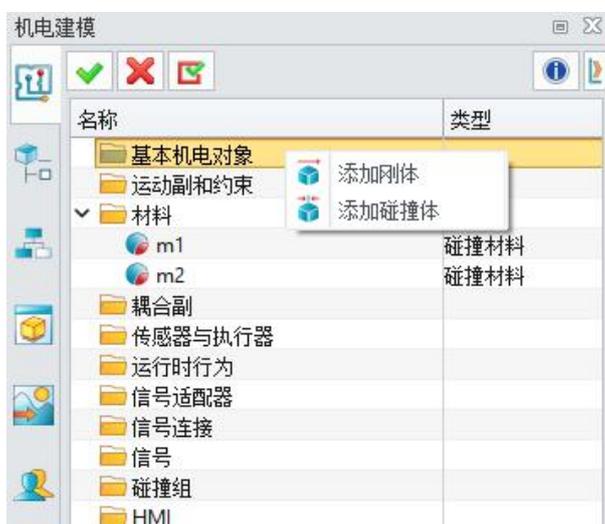


图 5-9: 添加刚体

- 在“刚体”窗口中，单击“+”按钮选择其中一个平台组件。
- 不勾选属性设置，然后单击“确定”。
- 重复上述步骤添加另一个平台作为刚体。(图 5-10)

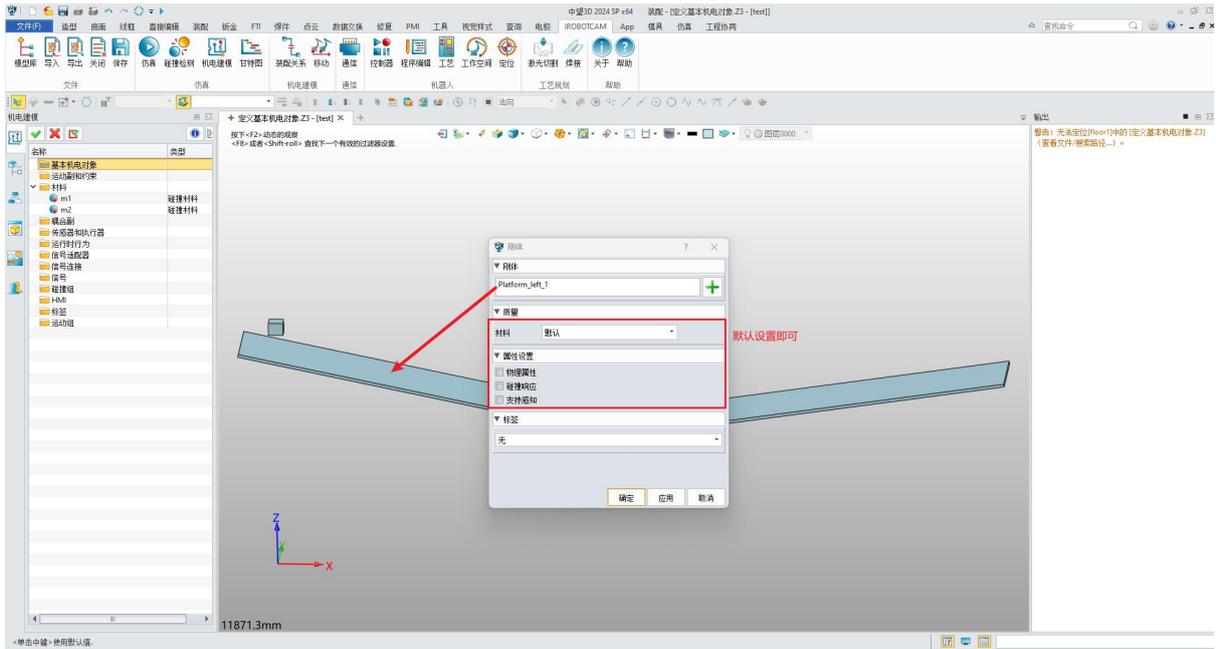


图 5-10：添加平台的刚体

- 选择箭头指示的“材料”以创建刚体。
- 不勾选属性设置，然后单击“确定”。(图 5-11)

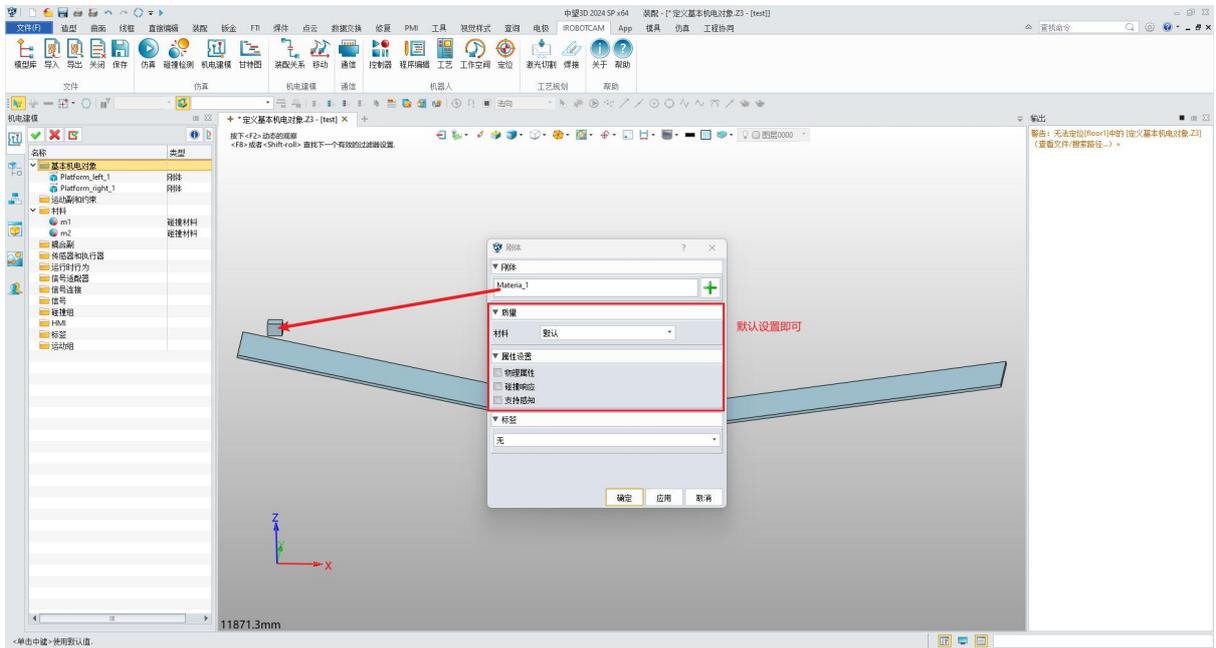


图 5-11：添加物料的刚体

第 4 步：创建碰撞体

- 右键单击“基本机电对象”，然后选择“添加碰撞体”。

- 在“碰撞体”窗口中，单击“+”按钮并选择平台的组件。
- 选择“凸分解”作为碰撞形状。
- 属性设置勾选“碰撞响应”。
- 选择“m1”作为材料。
- 重复上述步骤为另一个平台创建碰撞体。(图 5-12)

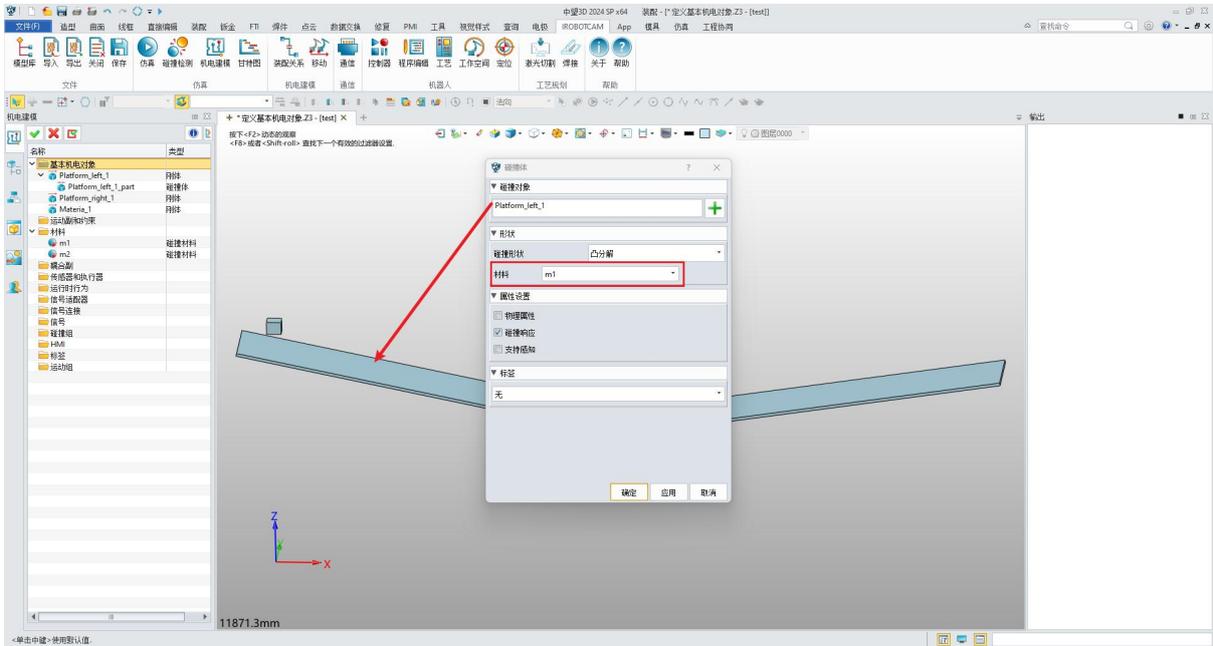


图 5-12：添加平台碰撞体

- 再次单击“+”按钮并选择框以创建碰撞体。
- 选择“凸分解”作为碰撞形状。
- 属性设置勾选“物理属性”和“碰撞响应”。
- 选择“m2”作为碰撞材料。(图 5-13)

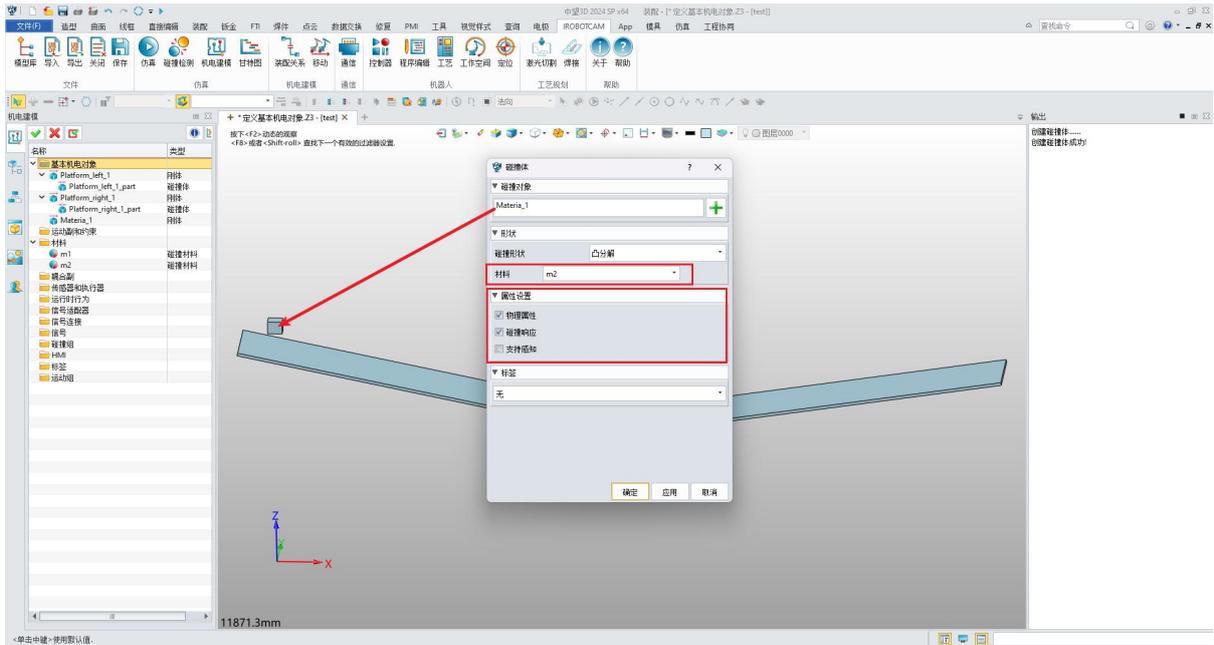


图 5-13: 添加一个木块碰撞体

第 5 步: 查看机电建模框架

- 此时, 您应该已经成功地为所有组件创建了材料、刚体和碰撞体。(图 5-14)

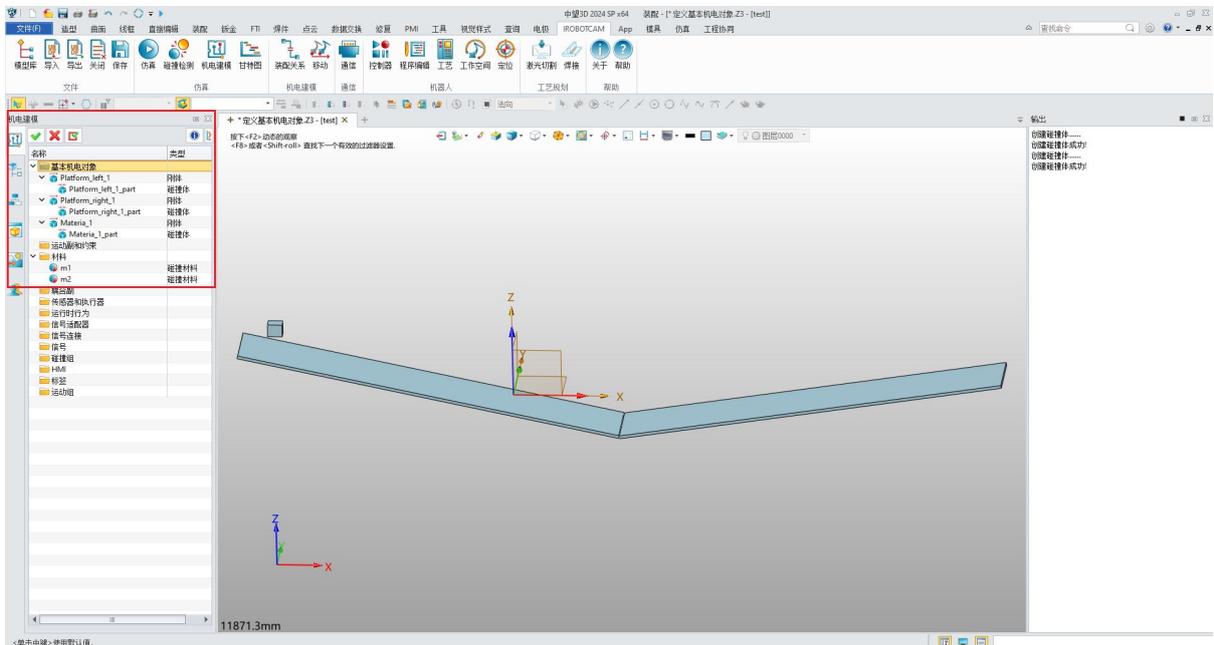


图 5-14: 整个机电框架

第 6 步: 仿真验证

- 单击“IROBOTCAM”选项卡。(图 5-15)



图 5-15: 模拟按钮

- 单击仿真按钮验证定义基本机电对象。(图 5-16)
- 该案例展示了如何在软件中对模型物理属性进行仿真。

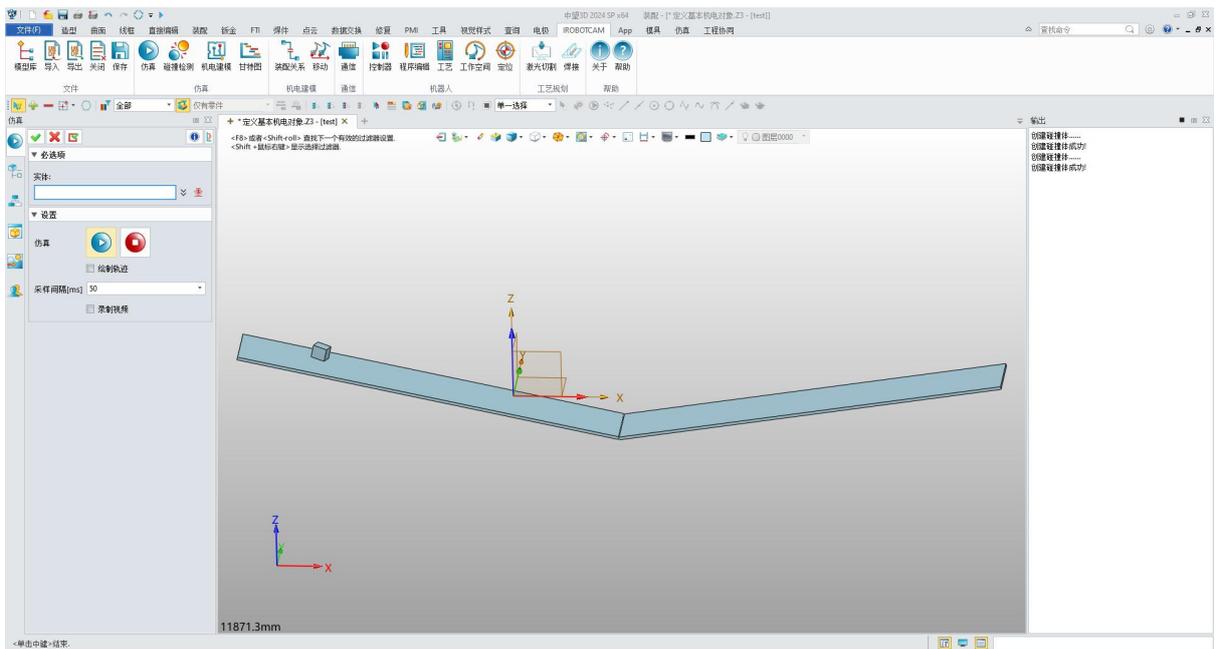


图 5-16: 仿真验证

第六章：定义传送带

本文件提供了有关如何在 IROBOTCAM 软件中定义传送带的分步指南。(图 6-1)

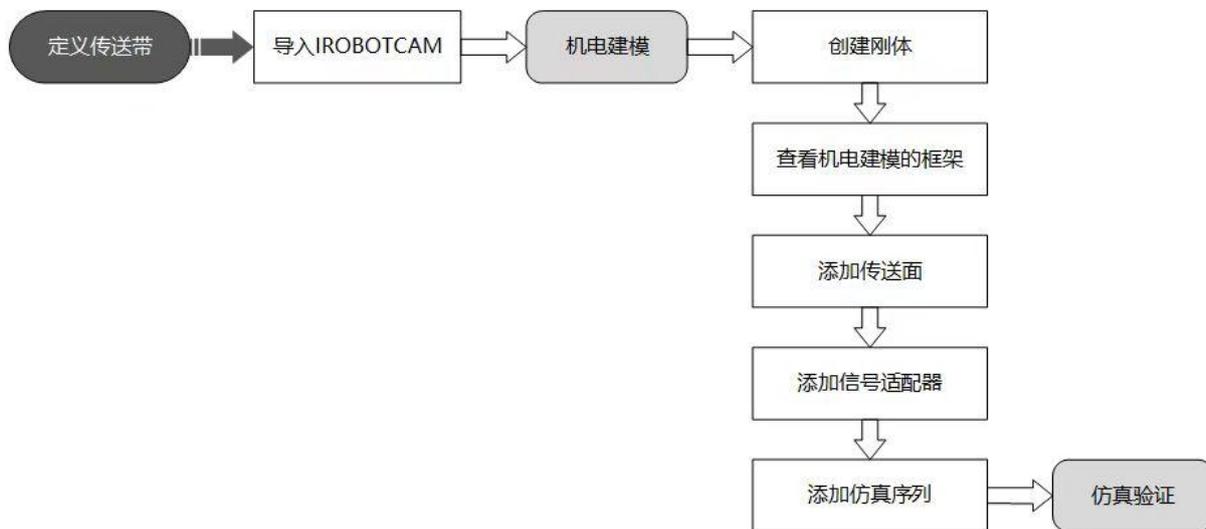


图 6-1: 定义传送带的流程图

步骤 1: 打开 iRobotCAM 项目文件

- 打开 iRobotCAM 项目文件“定义传送带.Z3”以进入 IROBOTCAM 环境。(图 6-2)



图 6-2: 打开 iRobotCAM 项目文件

- 等待导入进度条完成，输出框会有提示。(图 6-3)

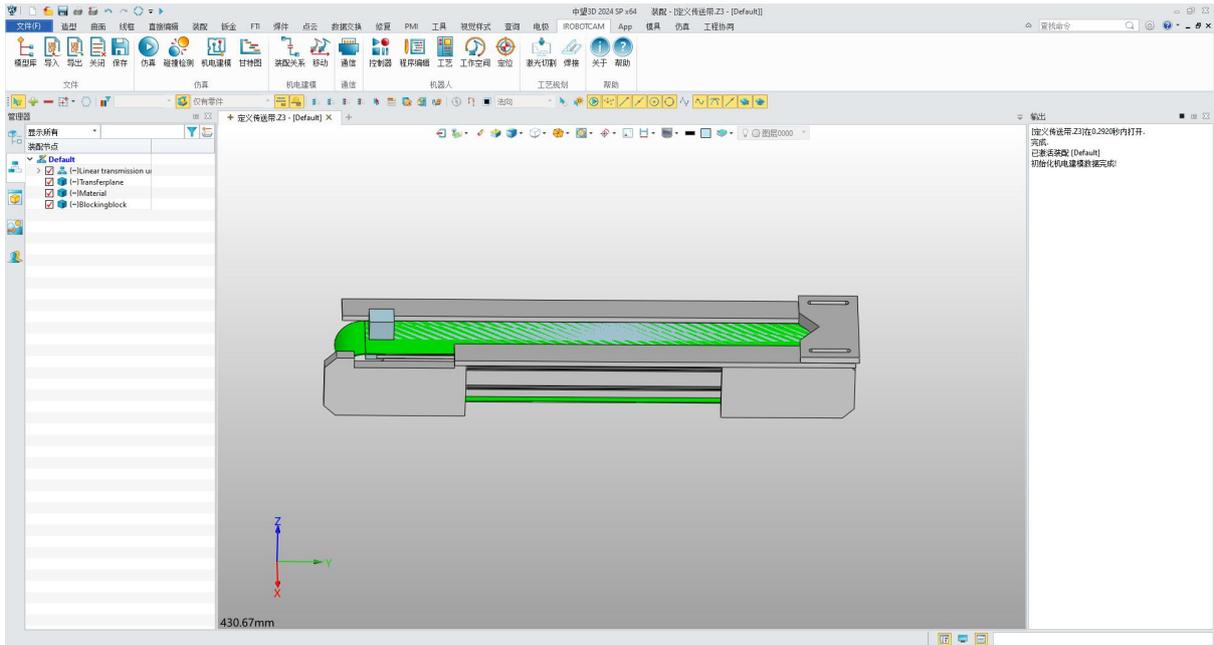


图 6-3：组件详细信息

步骤 2：创建刚体和碰撞体

- 进入“IROBOTCAM”选项卡并单击“机电建模”按钮。(图 6-4)



图 6-4：机电建模

- 在“基本机电对象”下，右键单击并选择“添加刚体”。(图 6-5)

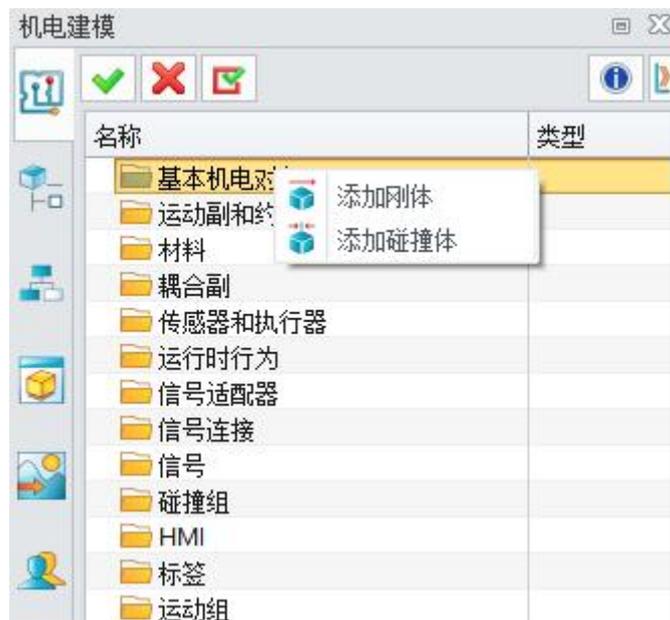


图 6-5: 添加刚体

- 传送面 (TransferPlane)：单击“+”按钮进入对象选择状态。单击鼠标左键选择组件传送面，并创建刚体。
- 材料为“默认”，属性设置不勾选。
- 单击“确定”按钮将第一个组件创建为刚体。(图 6-6)

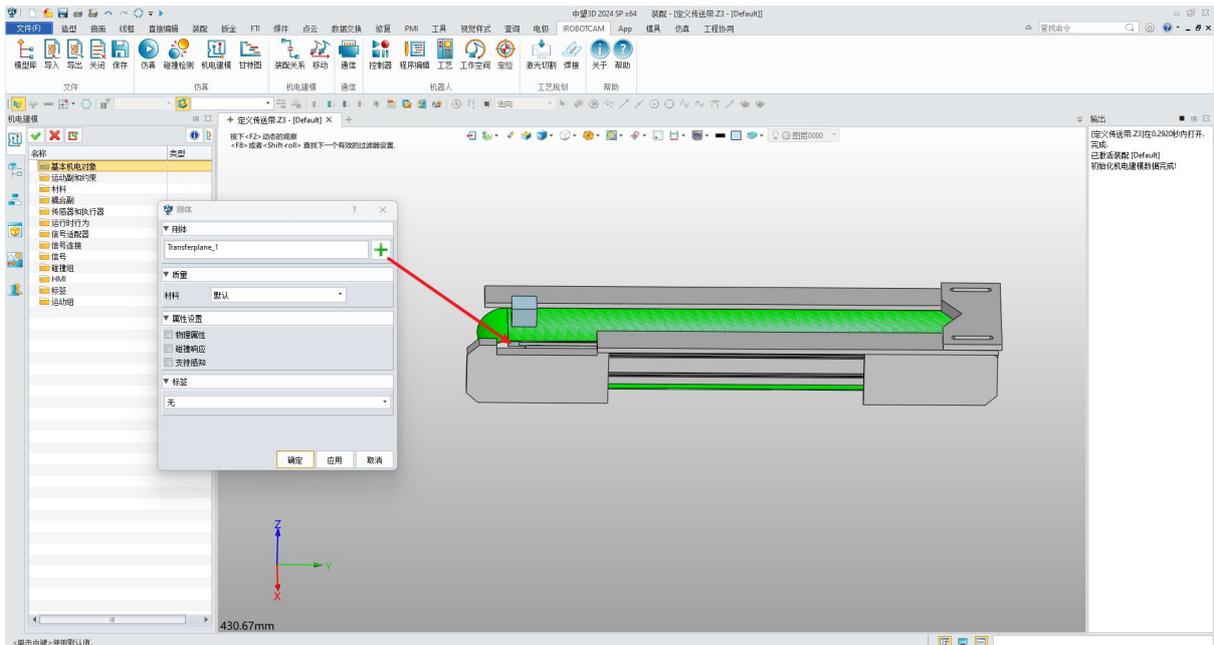


图 6-6: 添加传送面刚体

- 单击“+”按钮进入对象选择状态，选择组件 传送面进行添加碰撞体。
- 选择“凸分解”作为碰撞形状。
- 属性设置为“碰撞响应”，材料为“默认”。(图 6-7)

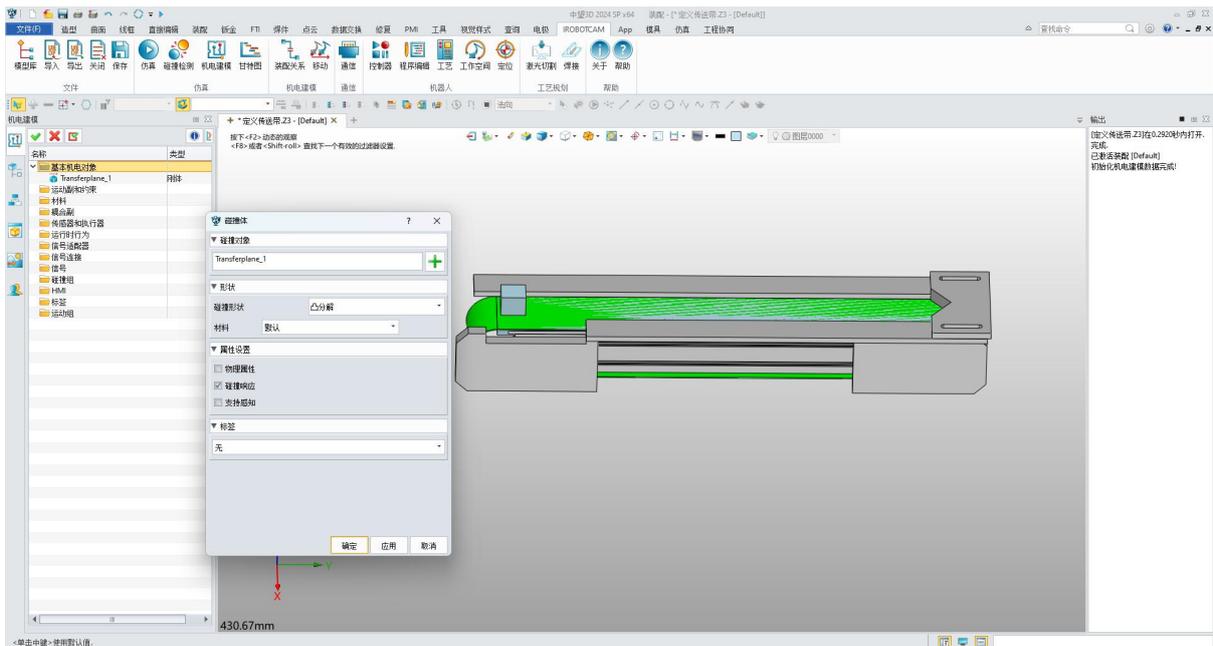


图 6-7：添加传送面碰撞体

- 物料（Material）：使用“+”按钮选择物料将其创建为刚体。
- 默认材料，属性设置不勾选。(图 6-8)

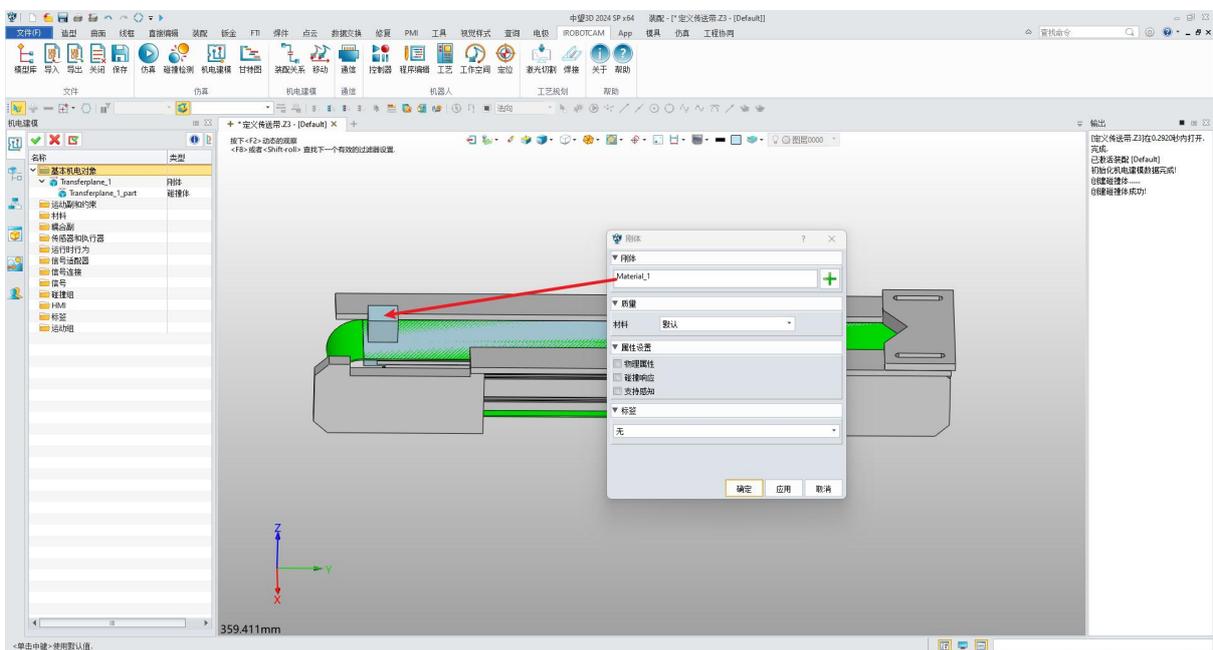


图 6-8：添加物料刚体

- 单击“+”按钮进入对象选择状态，选择物料创建碰撞体。
- 选择“凸分解”作为碰撞形状，属性设置勾选“物理属性”、“碰撞响应”和“支撑感应”，材料为“默认”。(图 6-9)

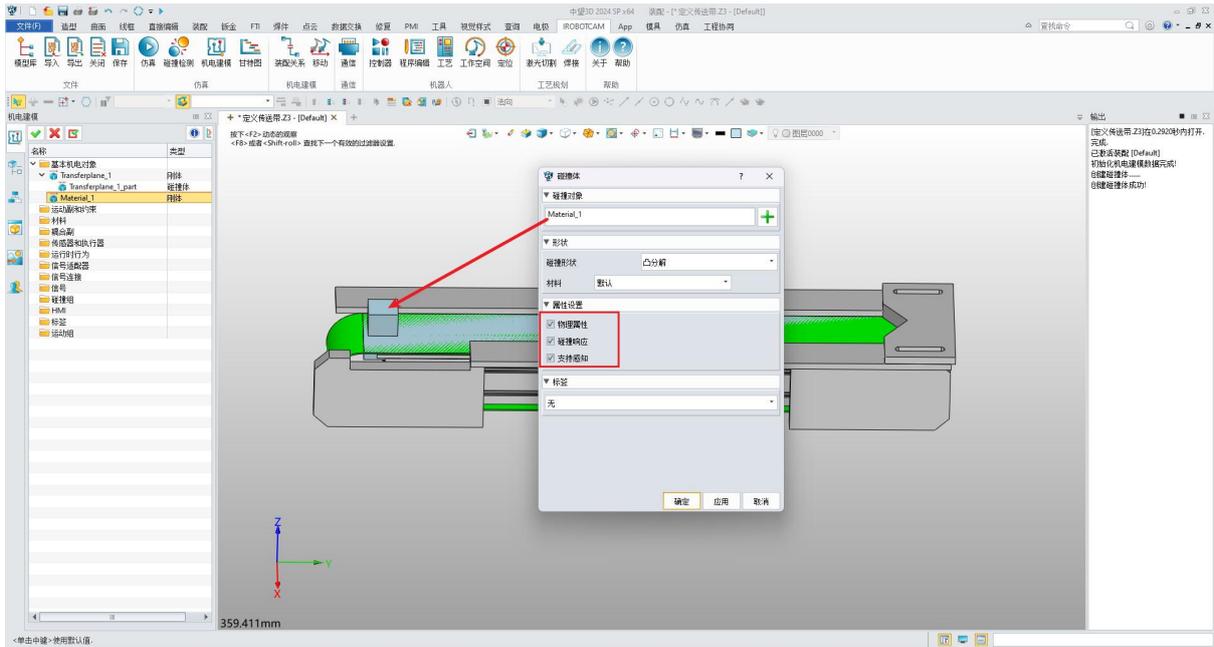


图 6-9：添加物料碰撞体

- 阻挡块（Blockingblock）：使用“+”按钮选择阻挡块 并将其创建为刚体。
- 材料为“默认”，属性设置不勾选。(图 6-10)

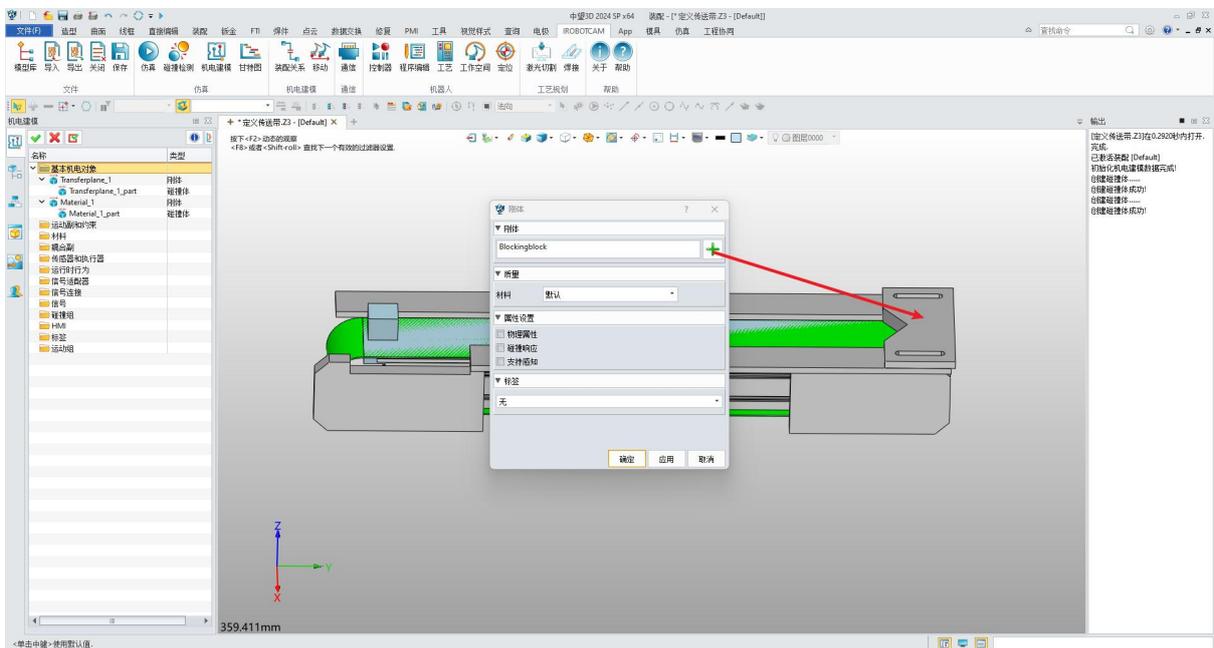


图 6-10：添加阻挡块刚体

- 单击“+”按钮进入对象选择状态。选择组件 阻挡块创建碰撞体。
- 选择“凸分解”作为碰撞形状，属性设置为“碰撞响应”，材料为“默认”。单击“确定”。(此过程需要耐心等待一段时间)(图 6-11)

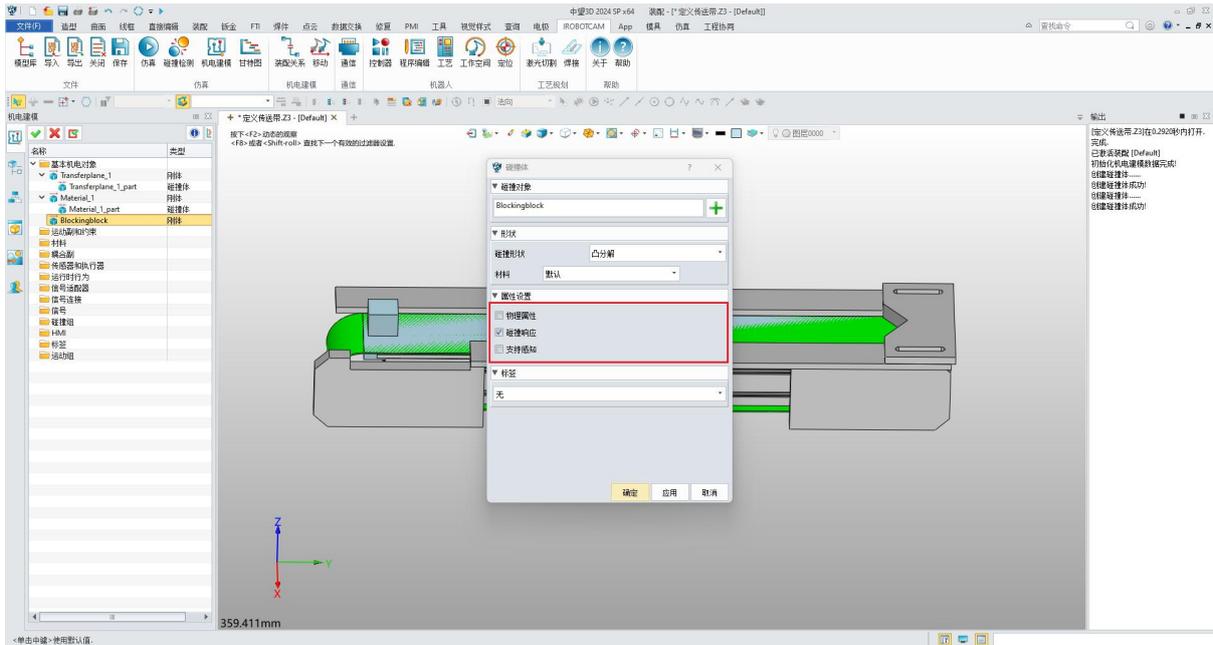


图 6-11: 添加阻挡块碰撞体

步骤 3: 基本机电对象框架

- 所有刚体和碰撞体应在“基本机电对象”下列出。(图 6-12)

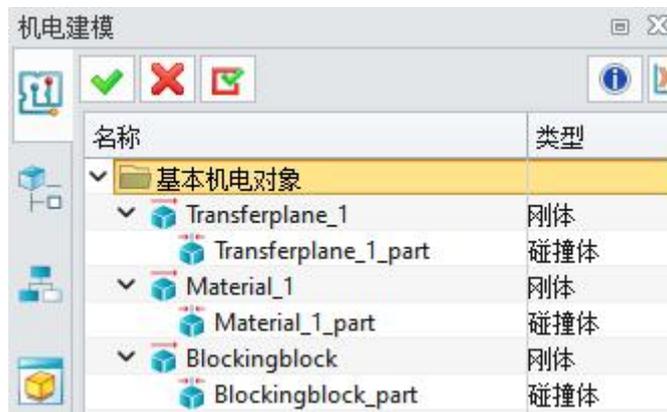


图 6-12: 基本机电对象框架

步骤 4: 添加传送面

- 右键单击“传感器和执行器”，然后选择“添加传送面”。(图 6-13)

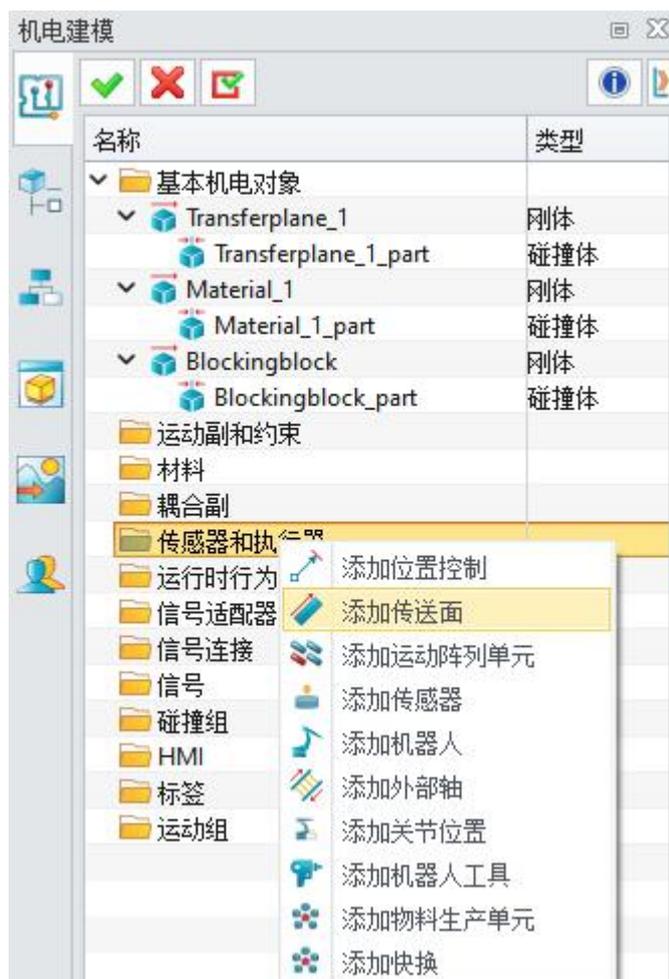


图 6-13: 传送面

- 选择传送面作为基本元素。
- 单击“+”按钮创建并选择 CSYS1 作为基坐标。
- 在“传送表面”窗口中，从“指定矢量”下拉列表中选择“第二个条目”。（传送带沿 Y 轴运动）。
- 输入传送带速度为“100”。
- 将传送平面命名为“Conveyor belt”。
- 单击“确定”以生成传送面对象。（图 6-14）

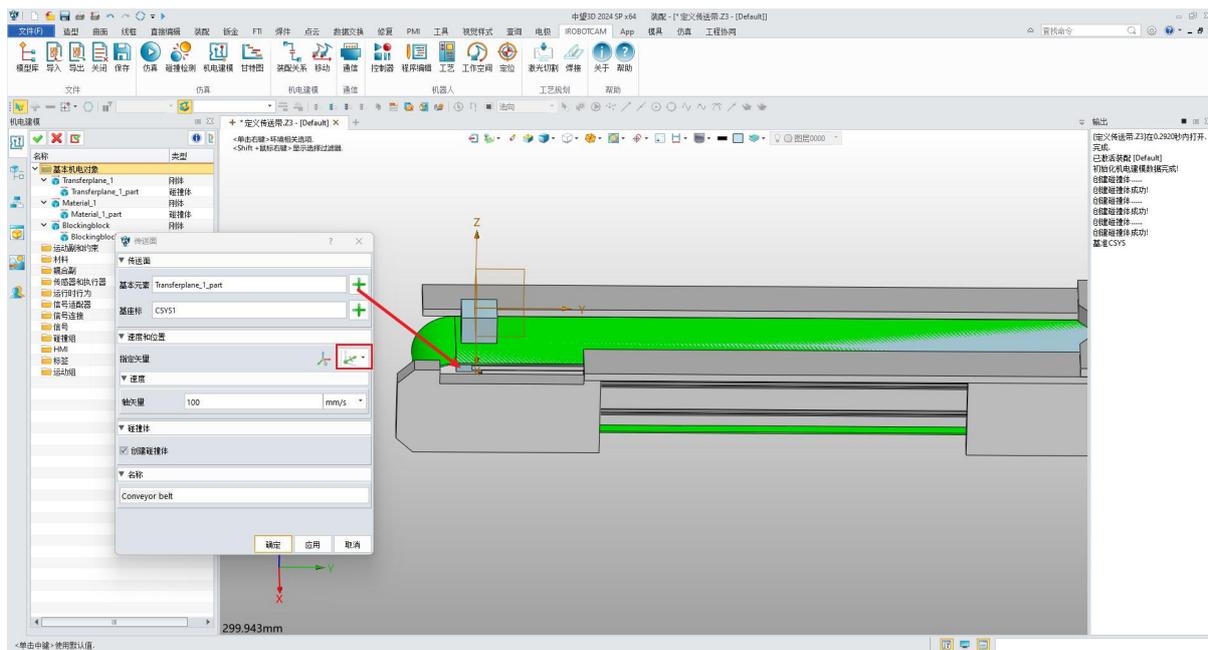


图 6-1：传送带

步骤 5：添加信号适配器

- 单击“信号适配器”，然后右键单击并选择“添加信号适配器”。（图 6-15）

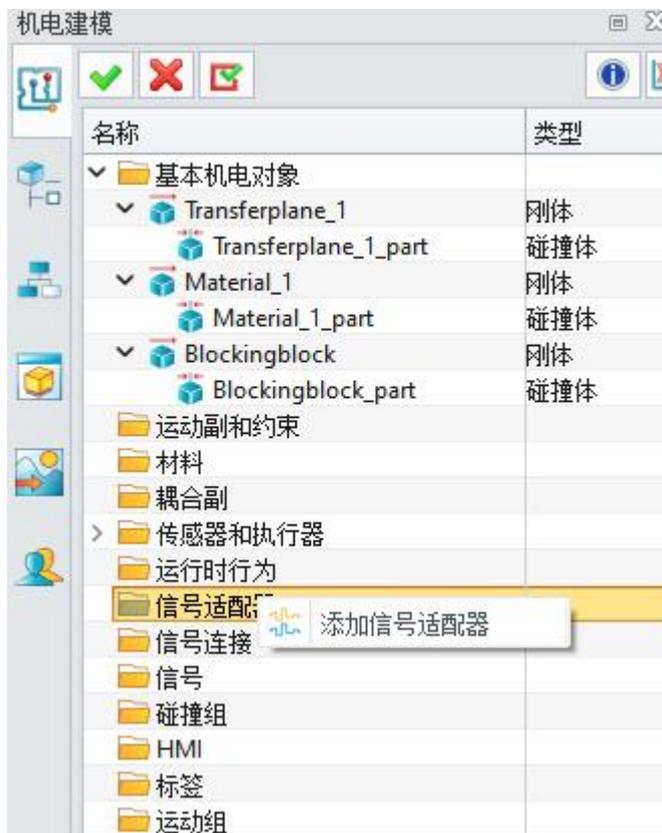


图 6-2: 信号适配器

- 单击“传感器和执行器”，然后单击“+”按钮。
- 选择“传送面”。
- 添加参数，如图中所示，包括信号、公式和名称。单击“确定”以生成信号适配器对象和信号对象。（图 6-16）
- **注意：**信号适配器不支持特殊字符以及空格。

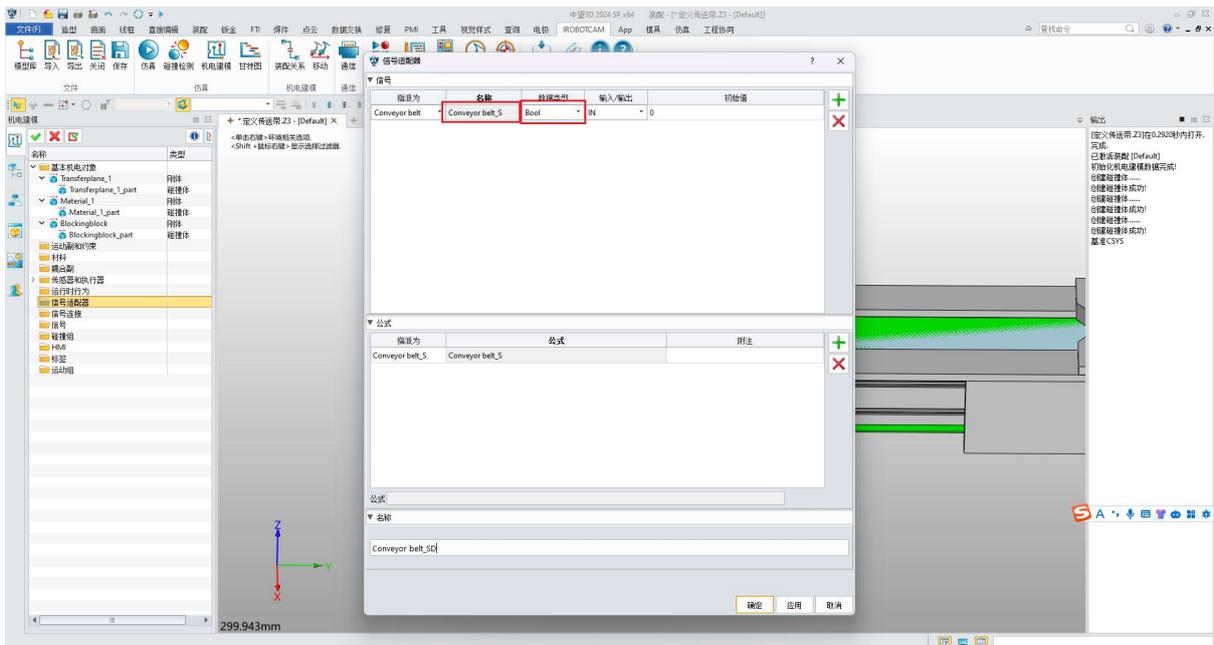


图 6-3: 添加信号适配器

步骤 6: 添加运行时行为

- 单击“运行时行为”，右键单击并选择“添加仿真序列”。（图 6-17）

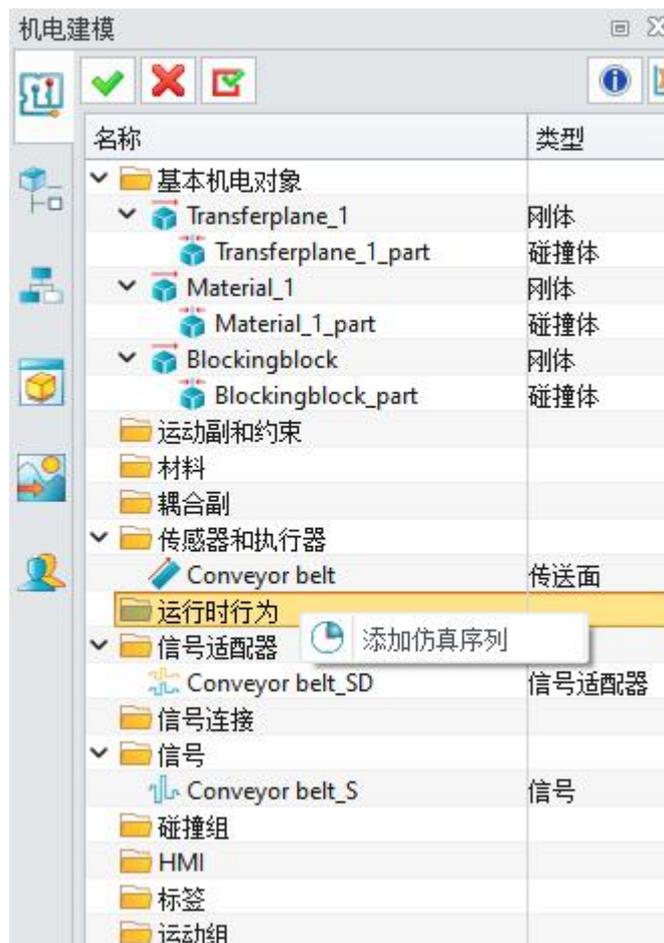


图 6-4：添加仿真序列

- 将开始时间设置为“0”，持续时间设置为“999999”。
- 取消选中“激活信号”和“结束信号”。
- 单击“+”按钮并选择执行信号。
- 将结束位置设置为“1”，单击“确定”。（图 6-18）

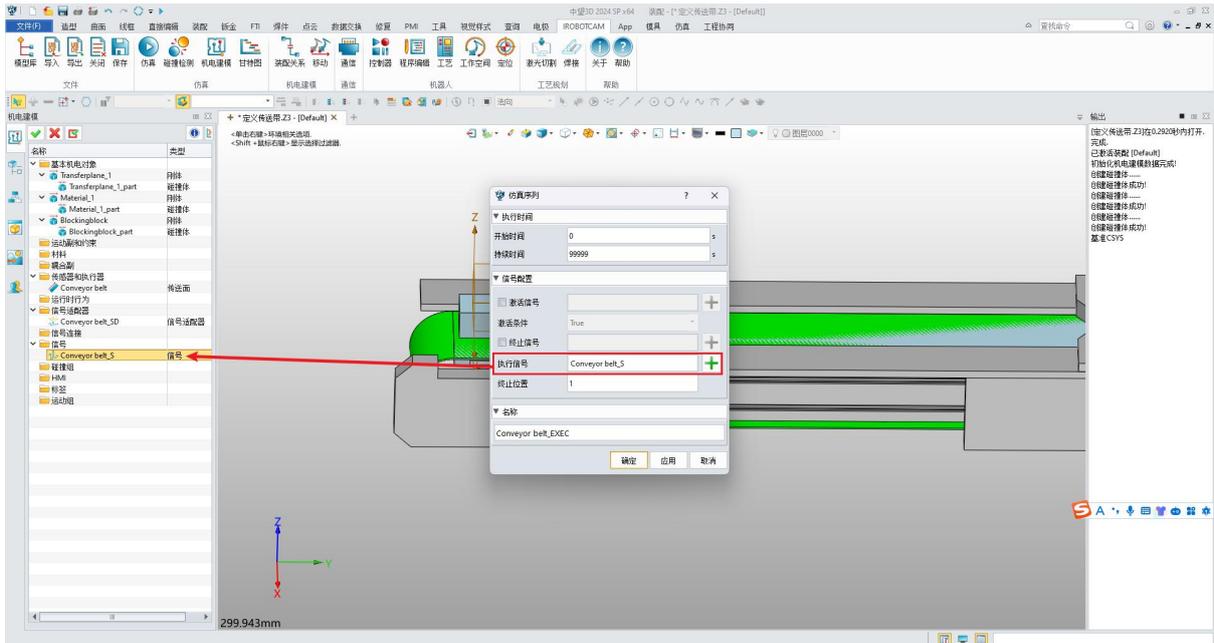


图 6-5: 仿真序列

步骤 7: 仿真验证

- 单击“IROBOTCAM”下的仿真的按钮。(图 6-19)



图 6-6: 仿真按钮

- 单击“仿真”窗口中的“开始仿真”按钮。
- 观察物料被输送到传送带的右侧。(图 6-20)

第七章：定义阵列运动单元

这篇文档概述了在 iRobotCAM 环境中定义阵列运动单元的过程。本指南适用于熟悉 iRobotCAM 基本功能的用户，旨在提供一种详细且专业的设置和模拟传送带系统的方法。（图 7-1）

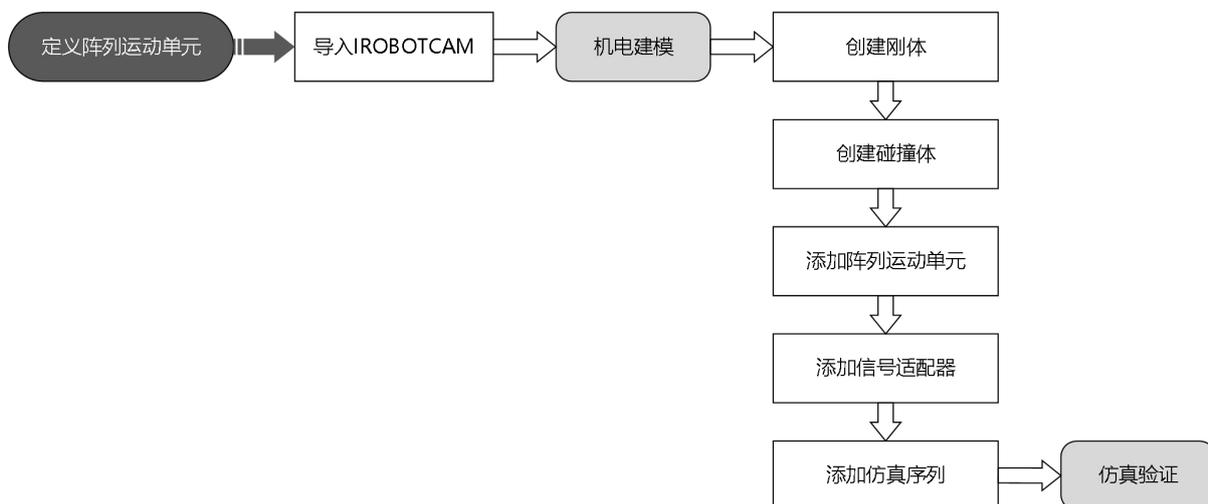


图 7-1：定义阵列运动单元流程图

步骤 1：打开 iRobotCAM 项目文件

- 打开 iRobotCAM 项目文件“定义阵列运动单元.Z3”进入 IROBOTCAM 环境。（图 7-2）



图 7-2：打开 iRobotCAM 项目文件

- 打开界面组件的详细信息。（图 7-4）

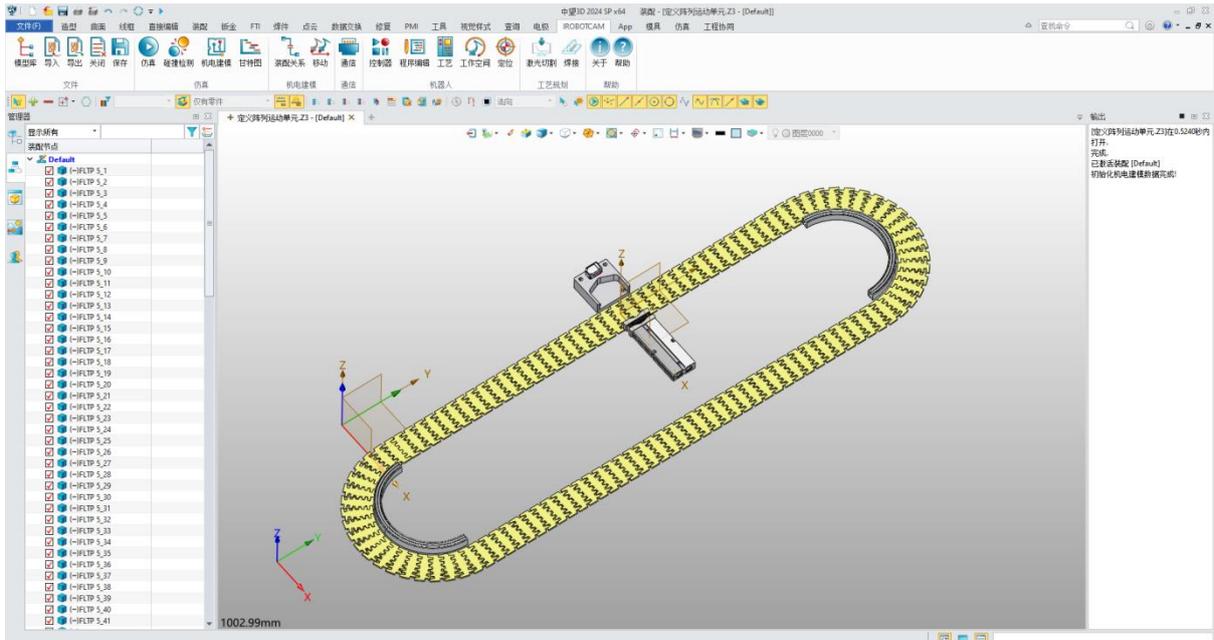


图 7-4: 组件详细信息

步骤 2: 创建 FLTP5 7 的刚体

- IROBOTCAM 界面中的“机电建模”选项卡。(图 7-5)



图 7-5: 机电建模

- 在“基本机电对象”面板中右键单击，然后选择“添加刚体”以打开“添加刚体”窗口。(图 7-6)

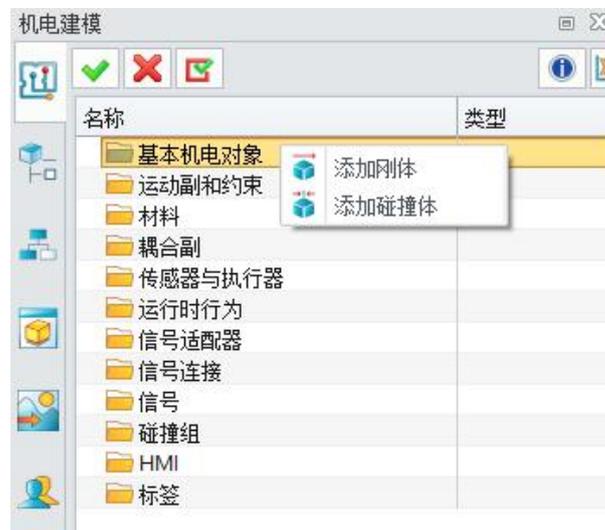


图 7-6: 添加刚体

- 单击“+”按钮，然后从可用列表中选择组件“FLTP5_7”。
- 根据您的特定需求修改“材料”和“属性设置”参数。
- 注意：材料使用“默认”，属性设置不勾选。
- 单击“确定”为“FLTP5_7”创建刚体。（图 7-7）

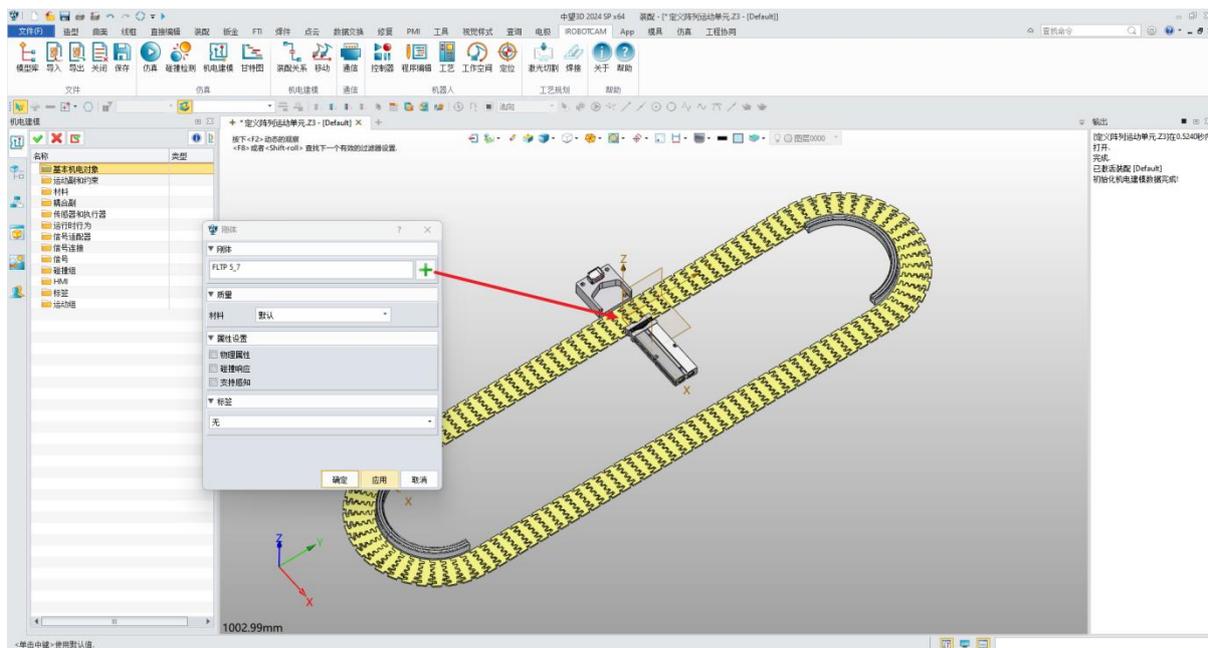


图 7-7: 刚体信息

步骤 3: 为 FLTP5 7 创建碰撞体

- 在“基本机电对象”面板中右键单击，然后选择“添加碰撞体”以打开“碰撞体”窗口。
- 单击“+”按钮，然后从可用列表中选择组件“FLTP5_7”。
- 注意：阵列运动单元需要选择一个传送带组件（包括刚体和碰撞）作为基本模型来创建整个传送带。因此，这里选择用于创建碰撞体的组件应与步骤 2 中选择用于创建刚体的组件一致。
- 根据您的具体需求修改“质量”、“材料”和“属性设置”参数。
- 注意：材料使用“默认”，碰撞形状需要选择为“凸分解”，在属性设置下勾选“碰撞响应”。
- 单击“确定”为“FLTP5_7”创建碰撞体。（图 7-8）

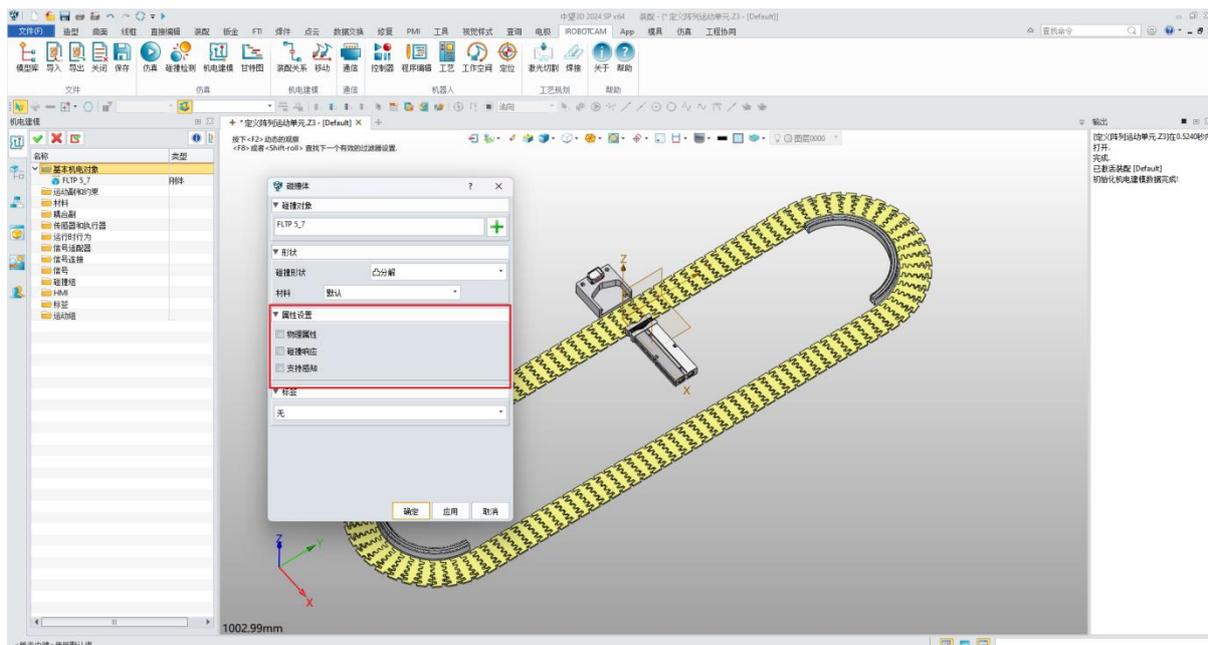


图 7-8：碰撞信息

- **注意：**这里需要注意的是，凸分解算法的等待时间会根据模型的复杂度和用户的电脑性能而有所不同。本示例模型的等待时间约为 10 秒。

步骤 4：添加阵列运动单元

- 在“传感器和执行器”面板中右键单击，然后选择“添加阵列运动单元”。（图 7-9）

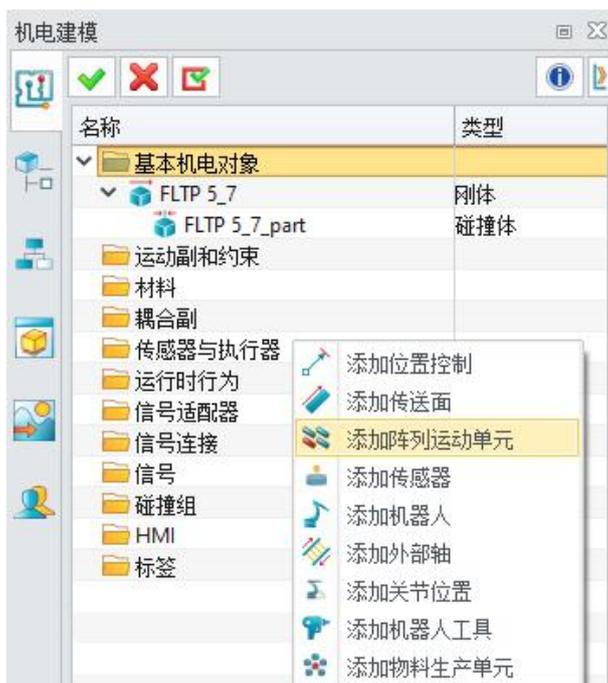


图 7-9: 添加阵列运动

- 单击“+”按钮，然后选择之前创建的“FLTP5_7”刚体作为阵列运动单元的基础元素。
- 单击“+”按钮并选择一个 CSYS 作为基础坐标。
- 定义传送带将运行的所需“速度”（例如，100）。
- 分配一个描述性的“名称”（例如，“Conveyor_Belt_1”）以便于识别。（图 7-10）

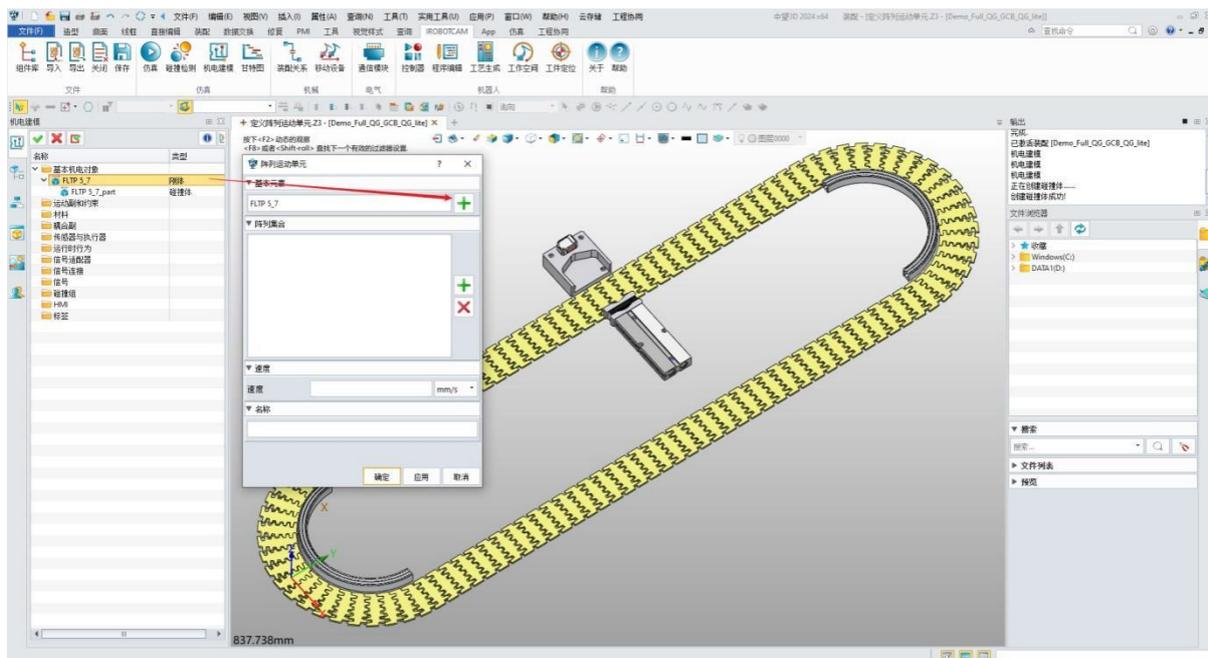


图 7-10: 基本对象

- 再次单击“+”按钮开始选择组成传送带的所有组件作为单独的阵列元素。
- 通过按鼠标中键在 3D 视口中仔细突出显示并选择每个元素。（图 7-11）

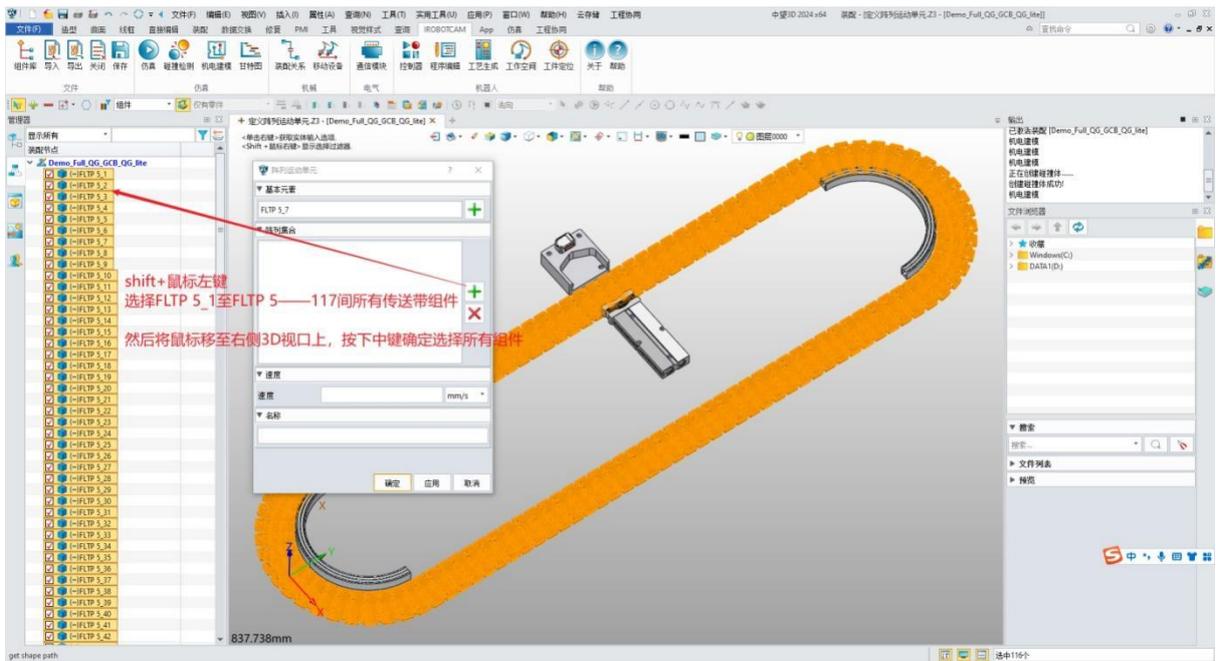


图 7-11: 阵列元素

- 根据需要查看和完善每个阵列元素的详细信息。(图 7-12)



图 7-12: 阵列运动单元

- 单击“确定”以完成阵列运动单元的创建。

- 等待在基本机电对象下生成圆形传送带以及传送带上的所有刚体和碰撞体。
(图 7-13)

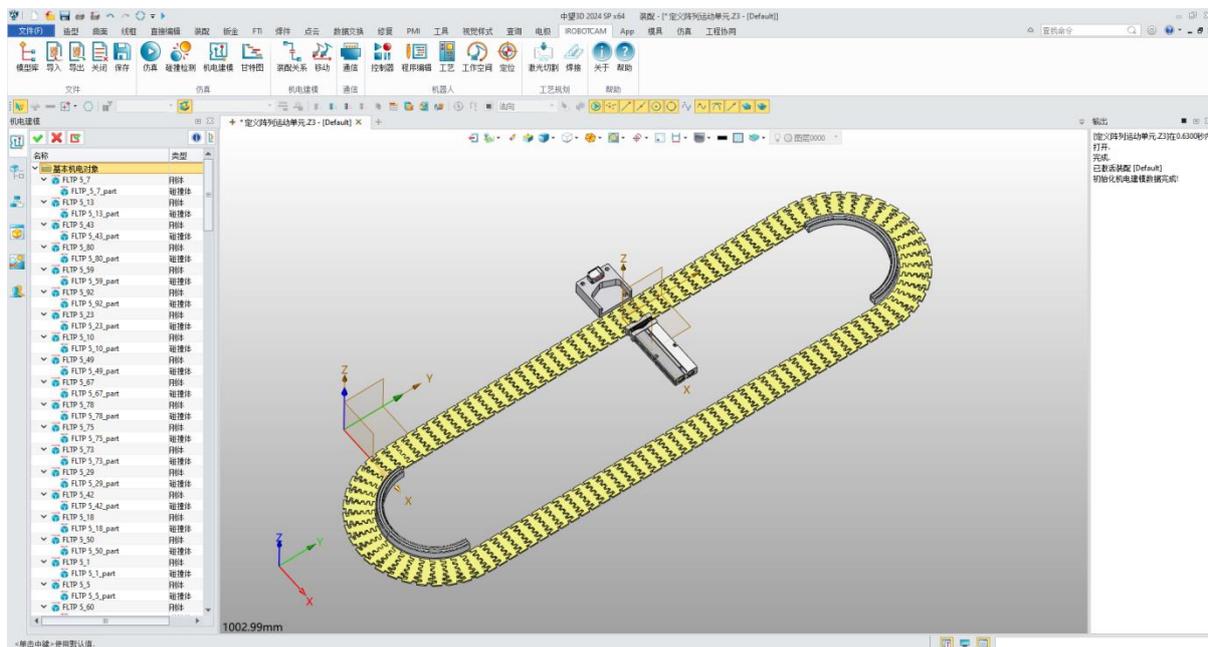


图 7-13: 阵列元素

步骤 5: 添加信号适配器

- 在“信号适配器”中右键单击，然后选择“添加信号适配器”。(图 7-14)

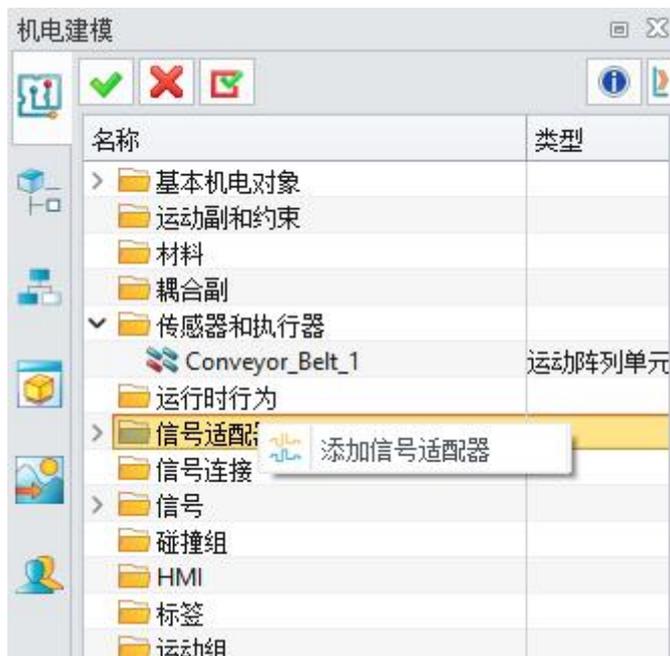


图 7-14: 添加信号适配器

- 单击“信号”部分中的“+”按钮，然后选择新创建的阵列运动单元。

- 指定所需的信号、公式和名称来定义阵列运动单元的操作行为。（图 7-15）
- 单击“确定”生成相应的信号适配器和信号对象。

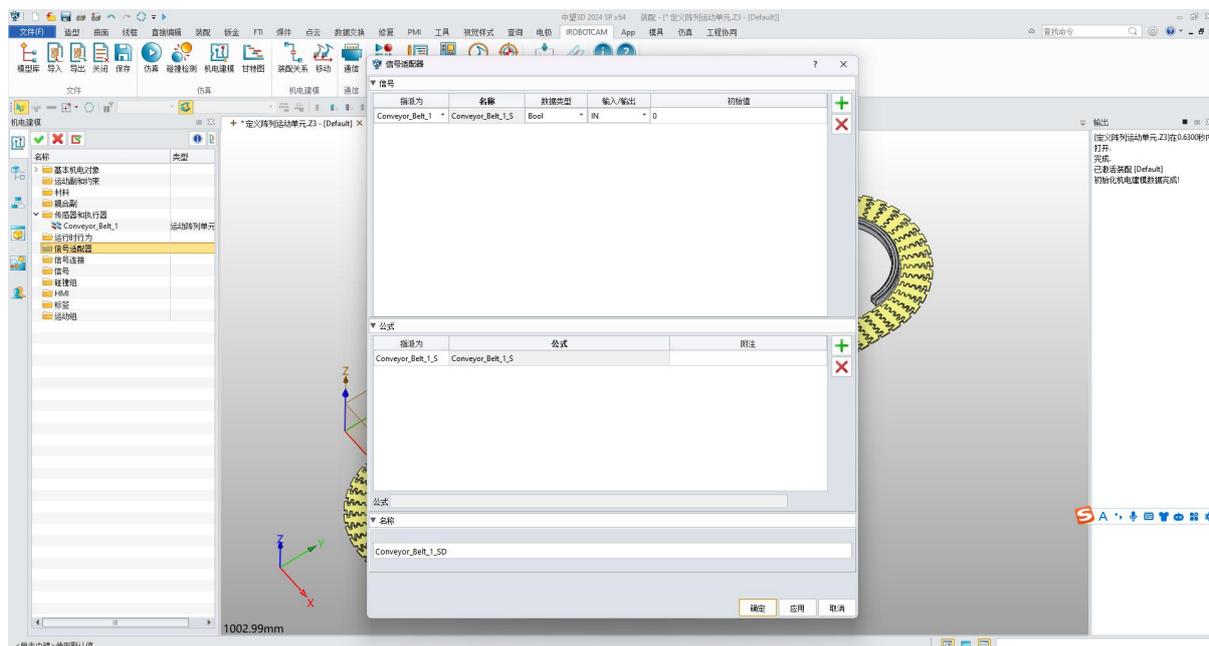


图 7-15: 信号适配器信息

步骤 6: 添加仿真序列

- 在“运行时行为”面板中右键单击，然后选择“添加仿真序列”以打开“仿真序列”窗口。（图 7-16）

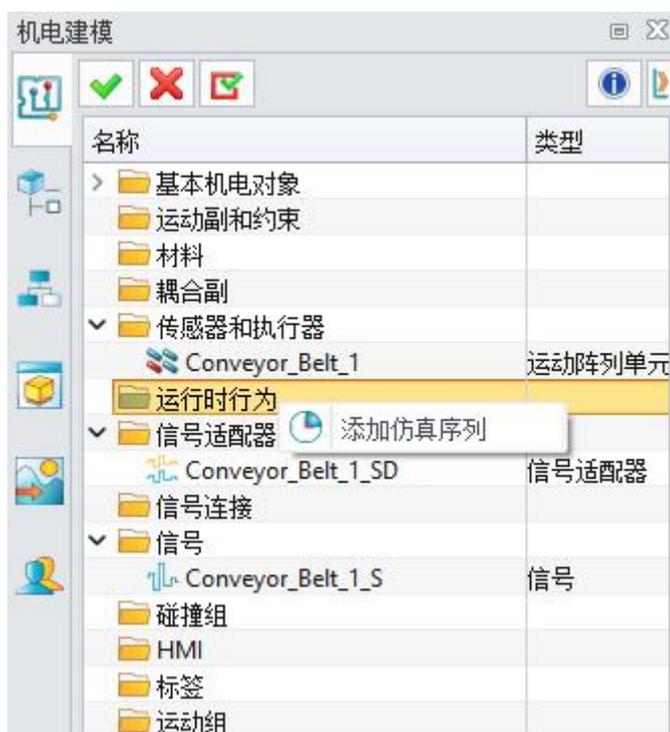


图 7-16: 添加仿真序列

- 定义仿真应开始的“开始时间”（例如，0）。
- 设置“持续时间”（例如，999999）以确保传送带在所需持续时间内运行。
- 取消选中“激活信号”和“结束信号”选项以自动启动仿真。
- 添加“执行信号”。
- 将“终止位置”设置为“1”以确保阵列运动单元完成其完整旋转。
- 为仿真序列分配一个描述性的“名称”。（图 7-17）

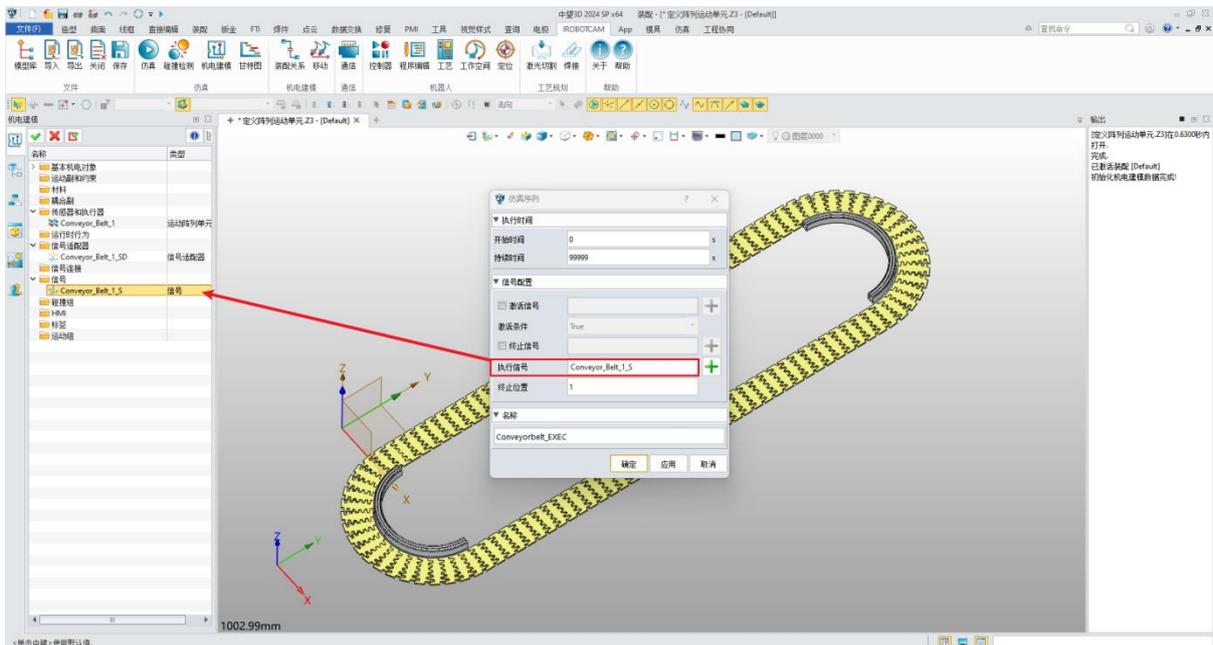


图 7-17: T1_EXEC

步骤 7: 仿真验证

- 单击“IROBOTCAM”选项卡下方的“仿真”按钮。



图 7-18: 仿真按钮

- 在“仿真”窗口中单击“开始仿真”按钮以启动传送带的仿真运动。
- 观察阵列运动单元和仿真序列设置运行。

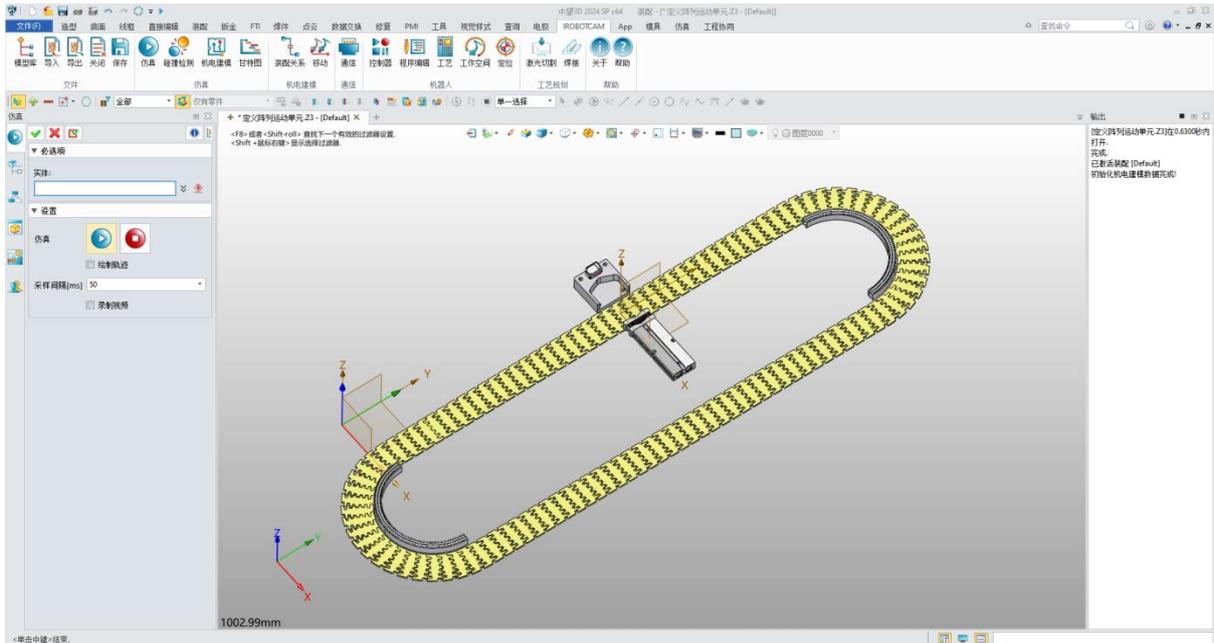


图 7-19: 仿真验证

总结:

通过遵循本详细而专业的指南，您可以有效地定义和利用 iRobotCAM 环境中的阵列运动单元来准确和精确地仿真复杂的阵列运动单元系统。根据您的特定需求调整和修改提供的参数和设置，并探索 iRobotCAM 提供的先进功能以进行进一步的自定义和控制。

第八章：创建机器人

这篇文档将逐步指导您如何在 iRobotCAM 软件中创建机器人。（图 8-1）

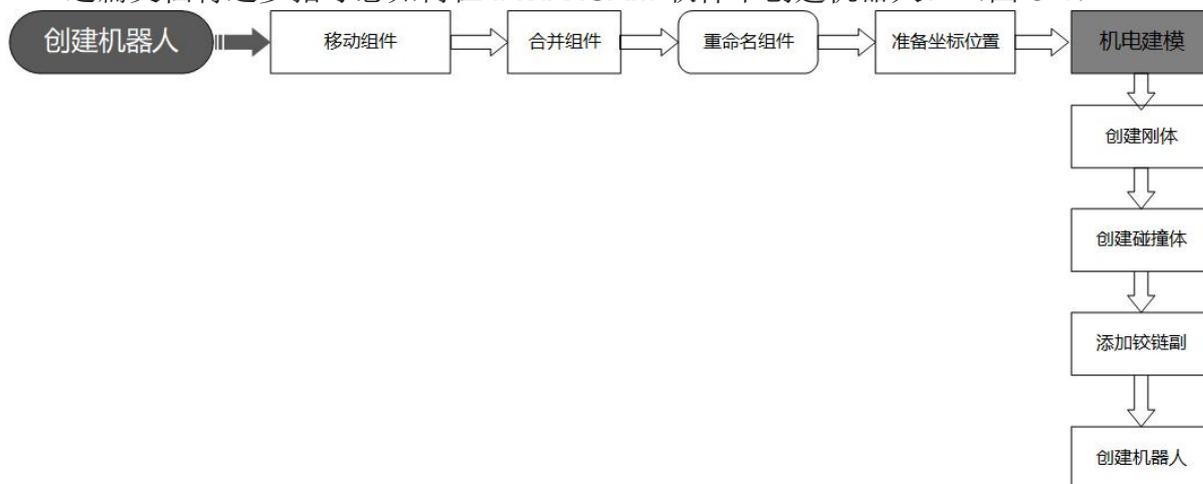


图 8-1：创建机器人流程图

步骤 1：打开 iRobotCAM 项目文件

- 打开 iRobotCAM 项目文件“创建机器人.Z3”。（图 8-2）



图 8-2：打开 iRobotCAM 项目文件

- 查看接口组件的详细信息。（图 8-4）

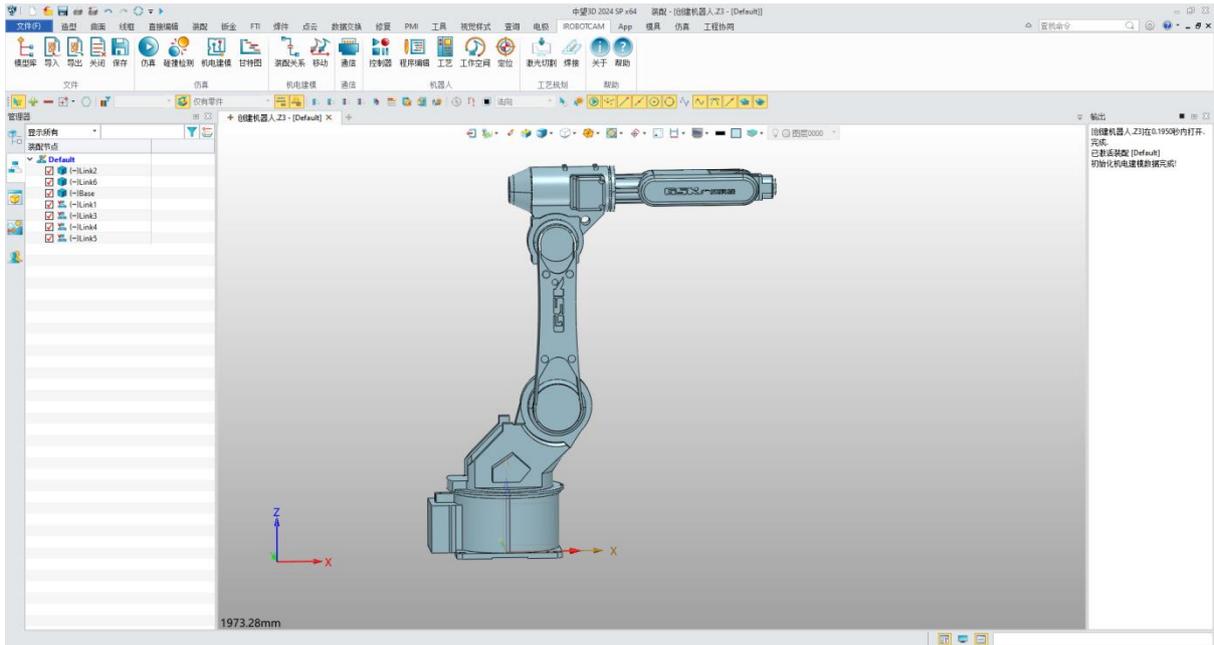


图 8-1：组件详细信息

步骤 2：准备坐标位置

- 在“造型”选项卡中选择“基准坐标系”选项。（图 8-5）



图 8-2：基准 CSYS

- 将“基准坐标系”设置为“动态”。（图 8-6）



图 8-3: 动态坐标系

- 隐藏或取消选中“组件 Link1”和“组件 Link3”。（图 8-7）

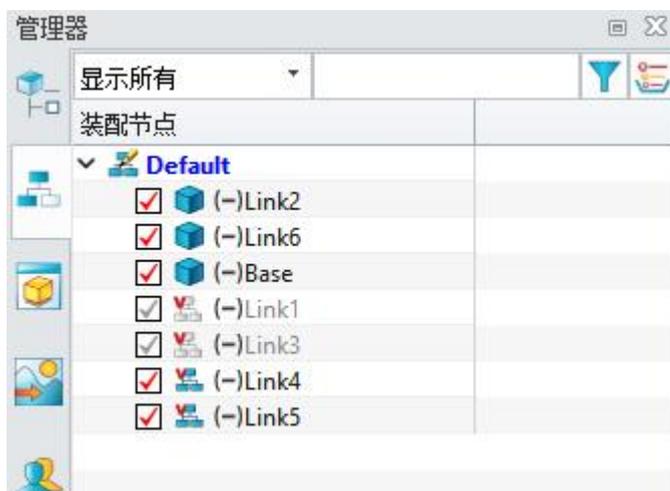


图 8-7: 取消选中

- 创建机器人坐标系：
 - ◇ Link1 到 Link6 关节旋转轴坐标系。
 - ◇ 基坐标系。
 - ◇ 法兰坐标系。
- 正确放置和调整坐标系，基坐标系和法兰坐标系只需将 Z 轴对齐即可。（图 8-8）

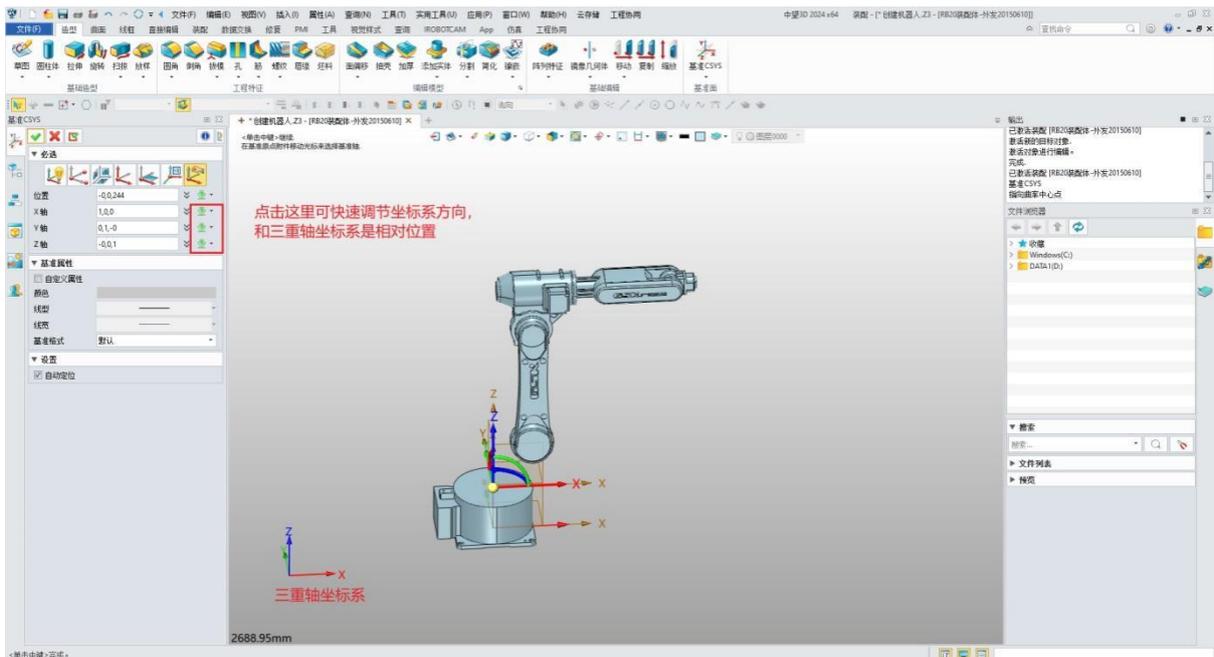


图 8-8: 坐标系构建

- 使用“关键点”功能选择中央三轴坐标系，创建基坐标（CSYS8）。
- 在 Link6 上所需的位置和方向创建法兰坐标系 (CSYS7)。

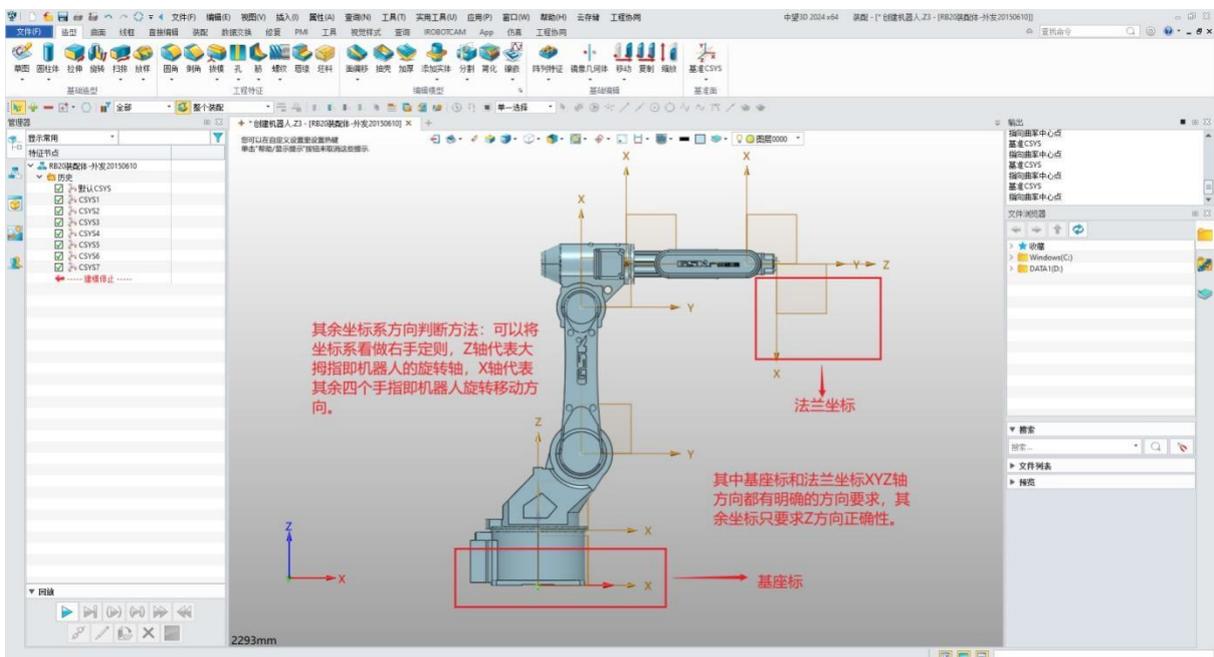


图 8-4: 坐标系位置

步骤 3: 创建刚体和碰撞体

- 转到“IROBOTCAM”选项卡，点击“机电建模”按钮。（图 8-10）

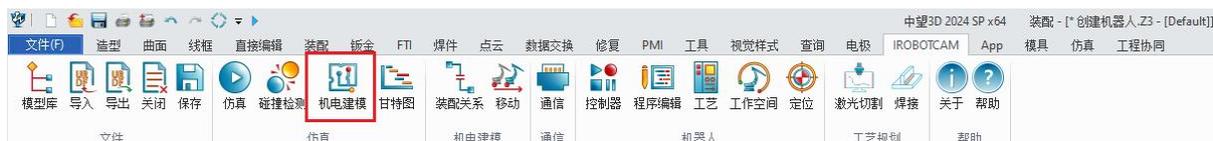


图 8-5: 机电建模

- 在“机电建模”窗口中，选择“基本机电对象”。
- 对七个关节组件对象逐一右键单击并选择“添加刚体”（图 8-11）。

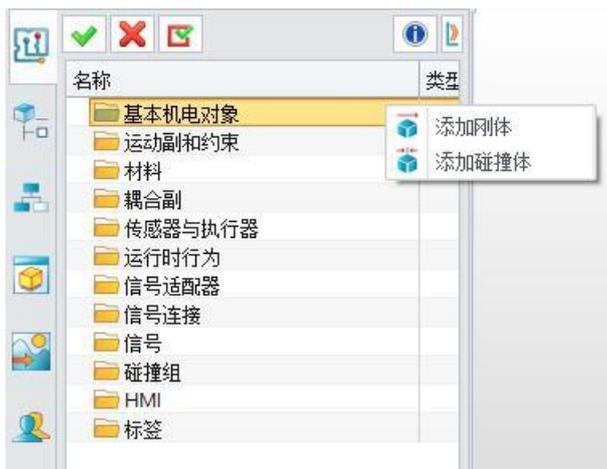


图 8-6: 添加刚体

- 属性设置不勾选，材料设置为“默认”（图 8-12）。



图 8-7：刚体参数

- 添加刚体后，七个关节对象的组件详细信息将会显示（图 8-13）。

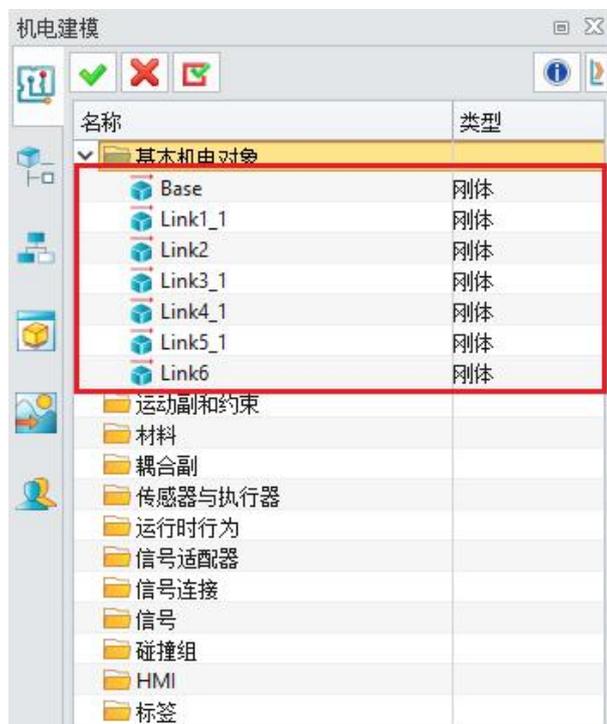


图 8-8：七个刚体

- 对七个组件对象逐一右键单击并选择“添加碰撞体”。
- 选择“凸包”作为碰撞形状。
- 属性设置不勾选，材料设置为“默认”（图 8-14）。



图 8-9: 碰撞体参数

- 添加碰撞体后，七个对象的组件详细信息将会显示（图 8-15）。



图 8-10: 七个碰撞体

步骤 4: 构建关节

- 在“机电建模”窗口中，选择“运动副和约束”。右键单击并选择“添加铰链副”（图 8-16）。

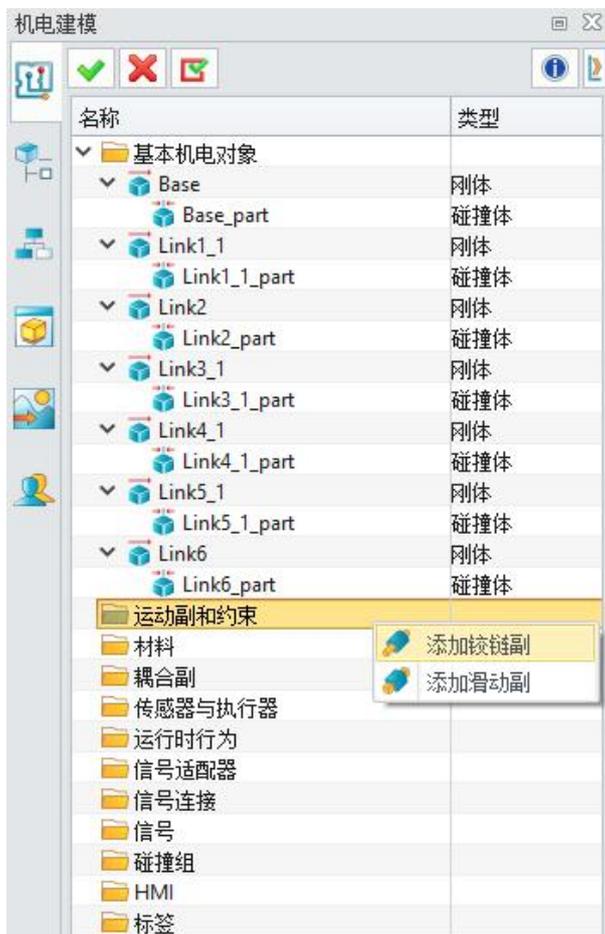


图 8-11：添加铰链副

- 为每个机器人关节创建六个铰链副，并为每个关节指定以下参数（图 8-17）
 - ◇ 子节点刚体和父节点碰撞。
 - ◇ 指定轴矢量（Datum CSYS1-6）。
 - ◇ 关节的上下限值。（J1-6 分别为 170/-170、132/-95、73/-165、180/-180、133/-133、360/-360）
 - ◇ 起始角度（“0”）。
 - ◇ 关节类型（“反解”）。
 - ◇ 名称（J1-6）。

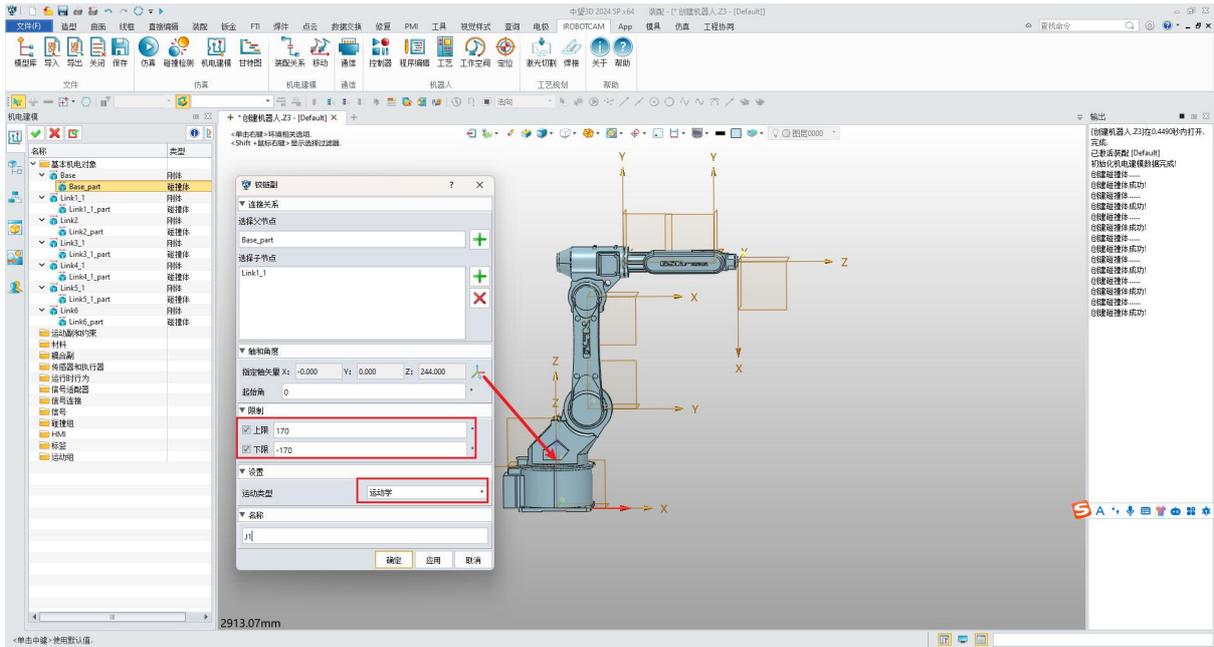


图 8-12: Robot_J1

- 按顺序创建机器人的六个关节，并细化六个关节的铰链副界面（图 8-18）。

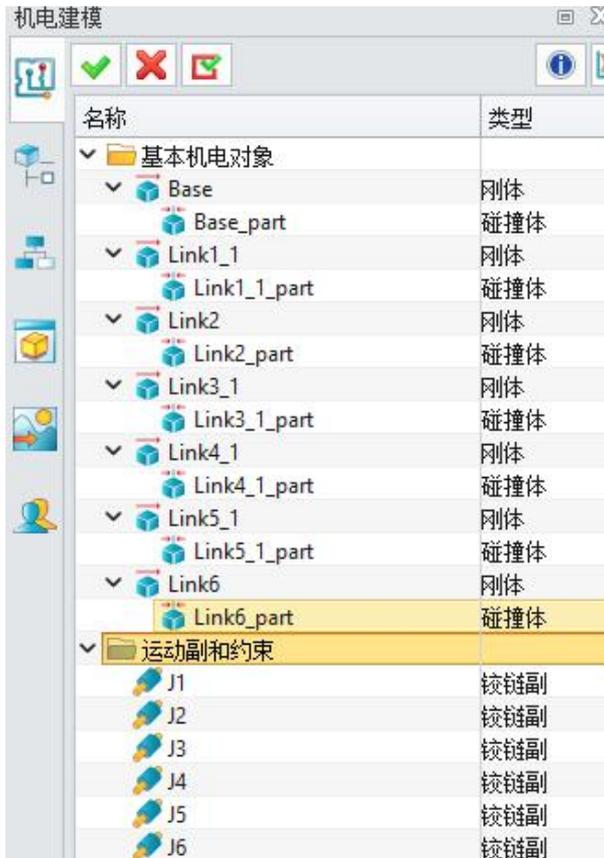


图 8-13: 六个铰链副

步骤 5: 创建机器人

- 在“机电建模”窗口中，单击“传感器和执行器”，右键单击并选择“添加机器人”（图 8-19）。

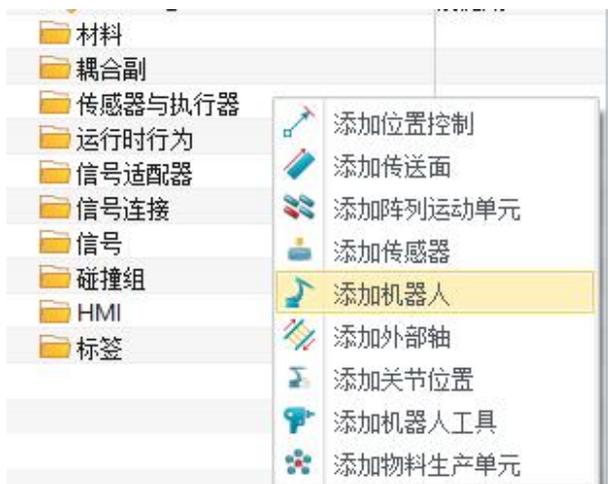


图 8-14：添加机器人

- 输入机器人名称“GSK”。
- 按顺序添加关节，旋转方向为“正”，偏移值为“0, 0, -90, 0, 0, 0”。
- 选择“GSK_Base”作为“基座坐标 CSYS8”，选择“GSK_Flange”作为“法兰坐标 CSYS7”（图 8-20）。

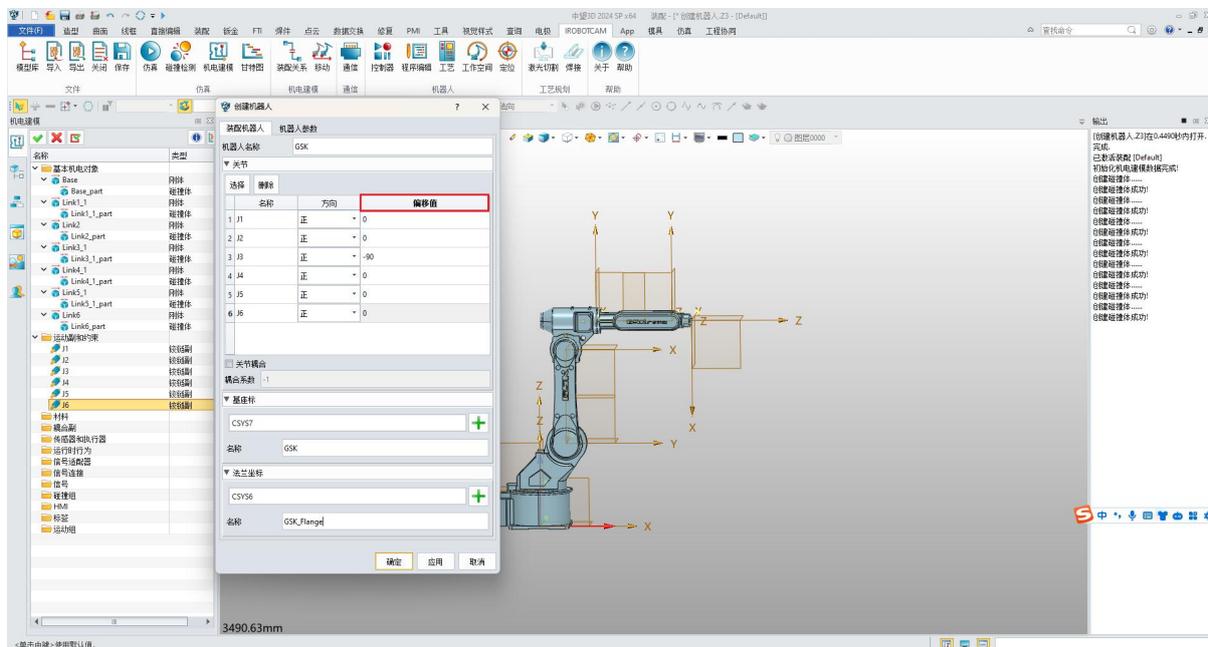


图 8-20：装配机器人

- 进行机器人参数设置，算法选择“解析解”，其他选项默认，单击“确定”创建机器人（图 8-21）。

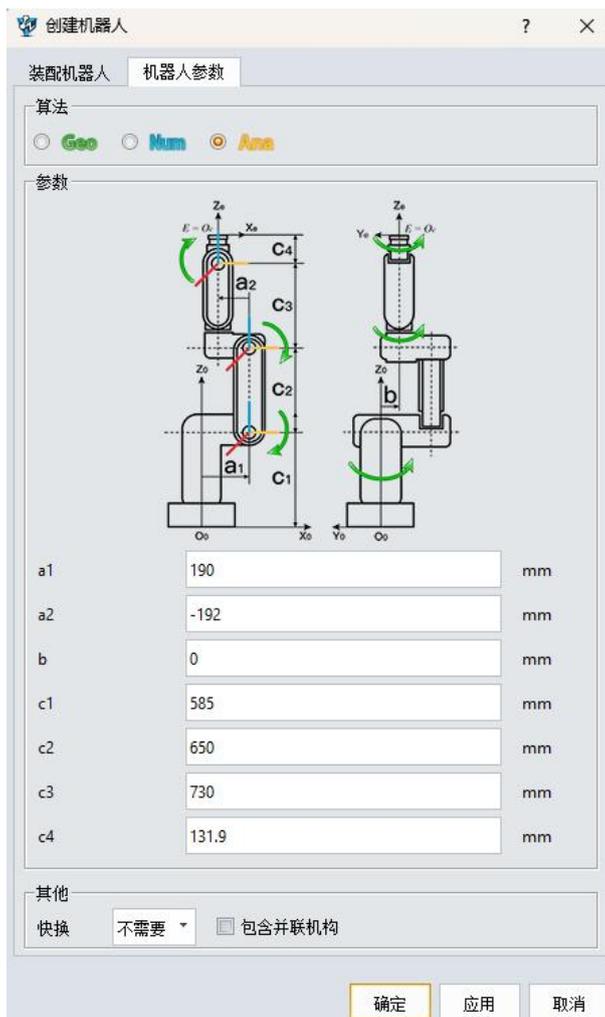


图 8-15: 创建机器人

- 等待左侧的“机电建模”中出现创建的机器人，则表示机器人创建成功（图 8-22）。



图 8-16: 机器人创建完成

步骤 6: 测量机器人参数

- 单击“查询”并选择“距离”（图 8-23）。



图 8-23: 距离选项

- 根据机器人参数图测量 a1、a2、b、c1、c2、c3 和 c4 的长度。
- 在“添加机器人”窗口中输入相应的值（图 8-24）。

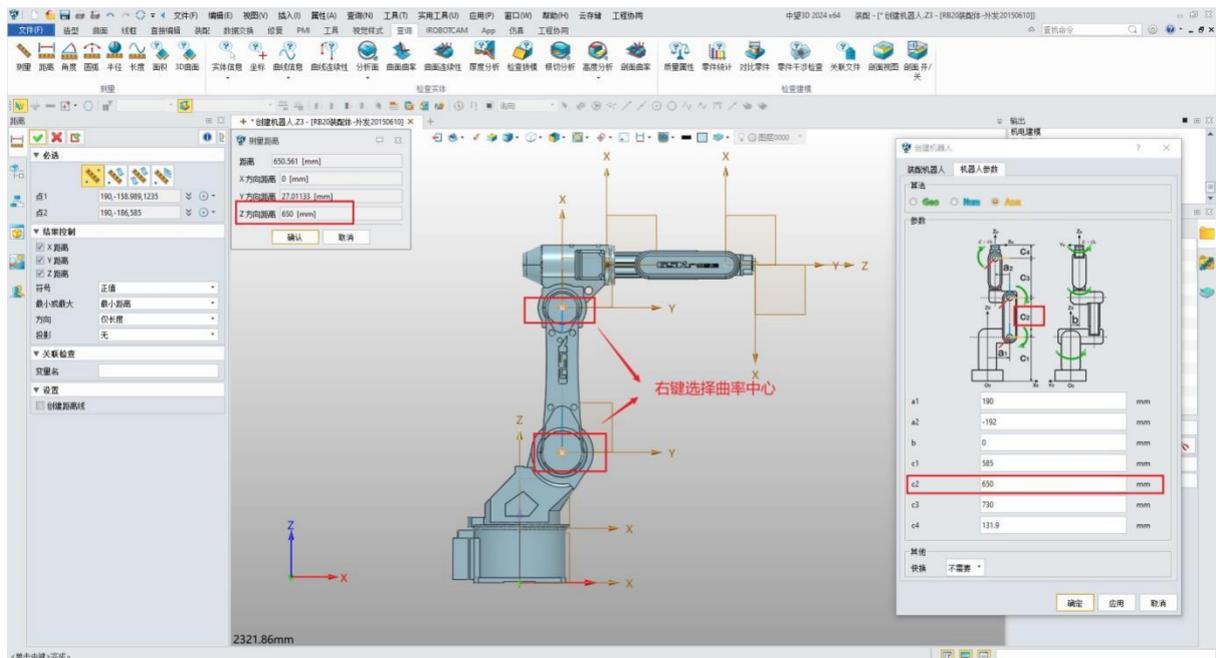


图 8-17: 机器人参数测量

步骤 7: 示教机器人

- 右键单击创建的机器人并选择“示教机器人”（图 8-25）。



图 8-18: 示教机器人

- 单击“拖动示教”，拖动 XYZ 轴以检查机器人是否正常运动（图 8-26）。

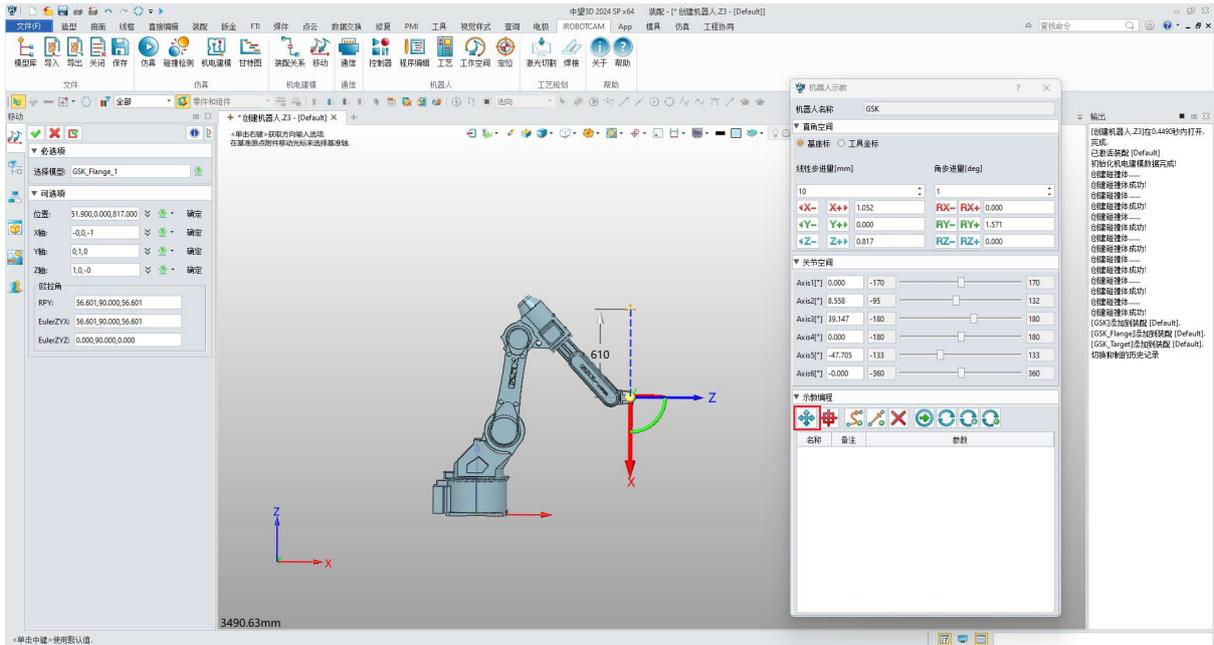


图 8-19：拖动示教

第九章：示教编程-画圆弧

画圆弧：全面指南与高级技巧

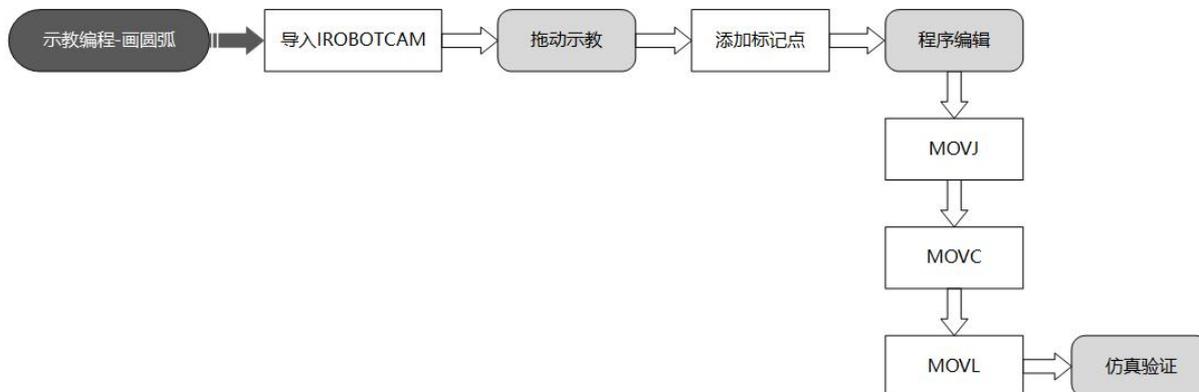


图 9-1：示教编程-画圆弧流程图

步骤 1：打开 iRobotCAM 项目文件

- 进入 iRobotCAM：打开文件“画圆弧.Z3”以进入 iRobotCAM 软件。这将开启 iRobotCAM 环境，为您提供机器人编程和仿真所需的功能。



图 9-2：打开 iRobotCAM 项目文件

- 打开装配体：找到“画圆弧”装配体。双击它以打开并激活它。这将使装配体的组件可供进一步分析和操作。

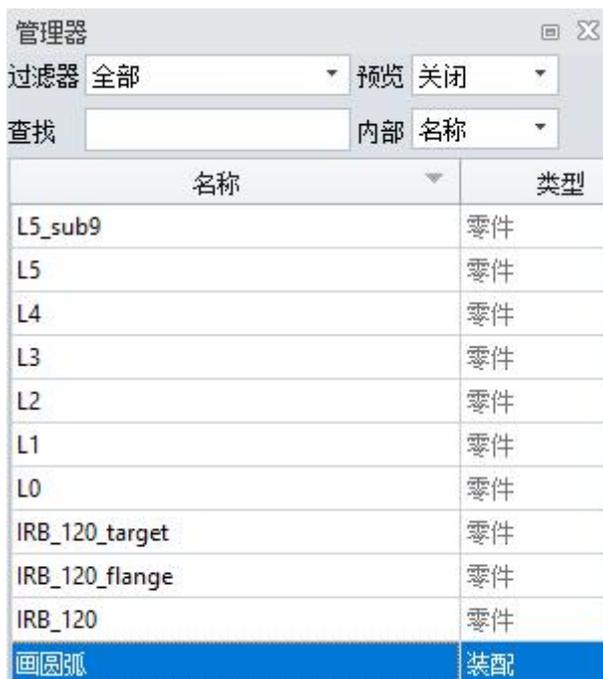


图 9-3：双击装配体

打开后界面详情。

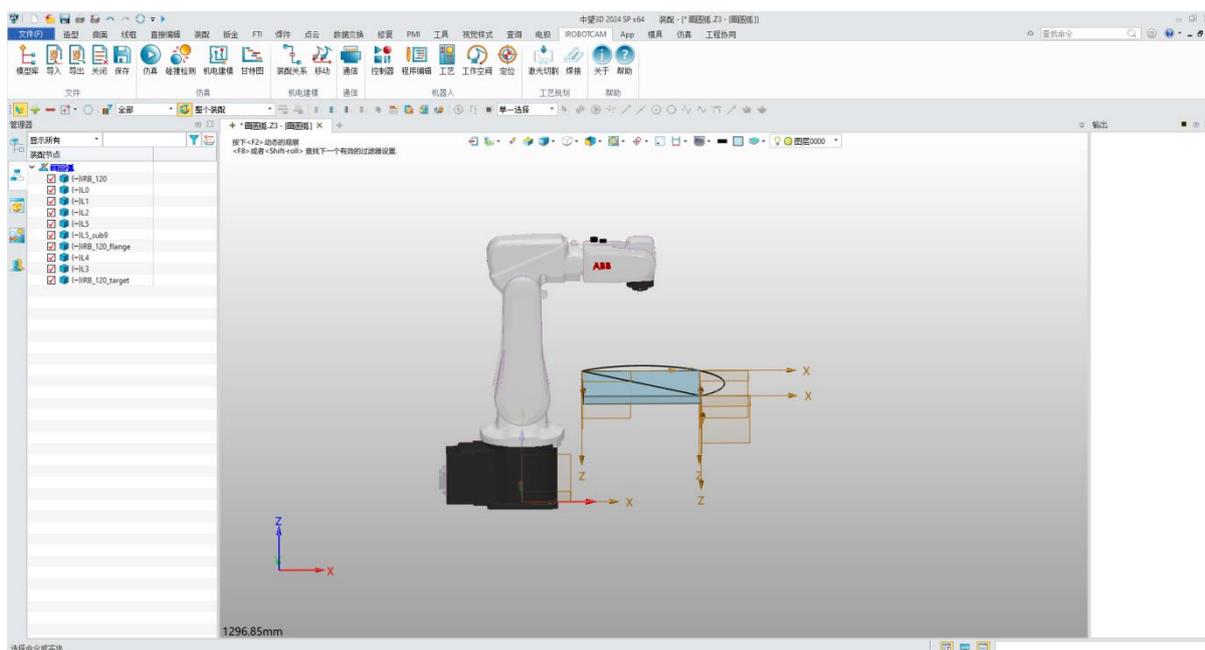


图 9-4：组件详细信息

步骤 2：进入示教模式并添加标记点

- 进入机电建模：导航到 iRobotCAM 界面中的 "机电建模" 选项。



图 9-5: 机电建模

- 打开示教窗口：右键单击机器人并从上下文菜单中选择 "示教机器人"。这将打开示教窗口，允许您记录机器人运动的轨迹。

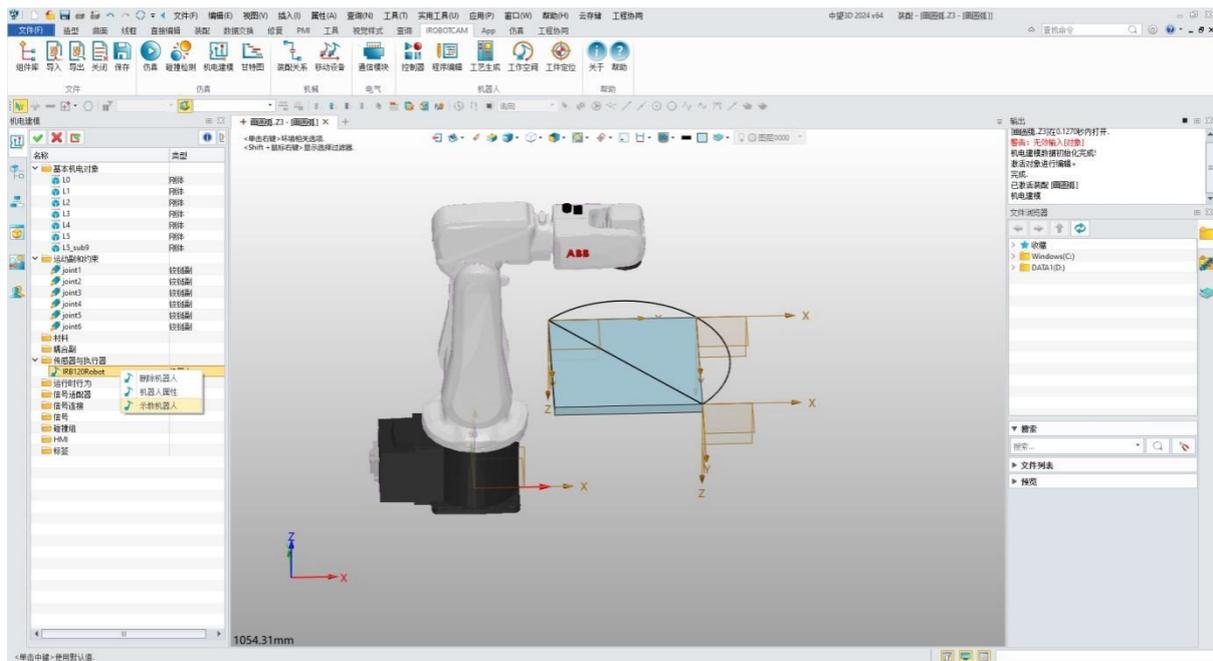


图 9-6: 示教机器人

步骤 3: 添加标记点

- 记录关节点：在 "机器人示教" 窗口中单击 "标记点"，选择 CSYS1 参考坐标系，在弹出框中选择合适的项目，机器人将移动到该位置，然后单击 "记录关节值" 按钮。

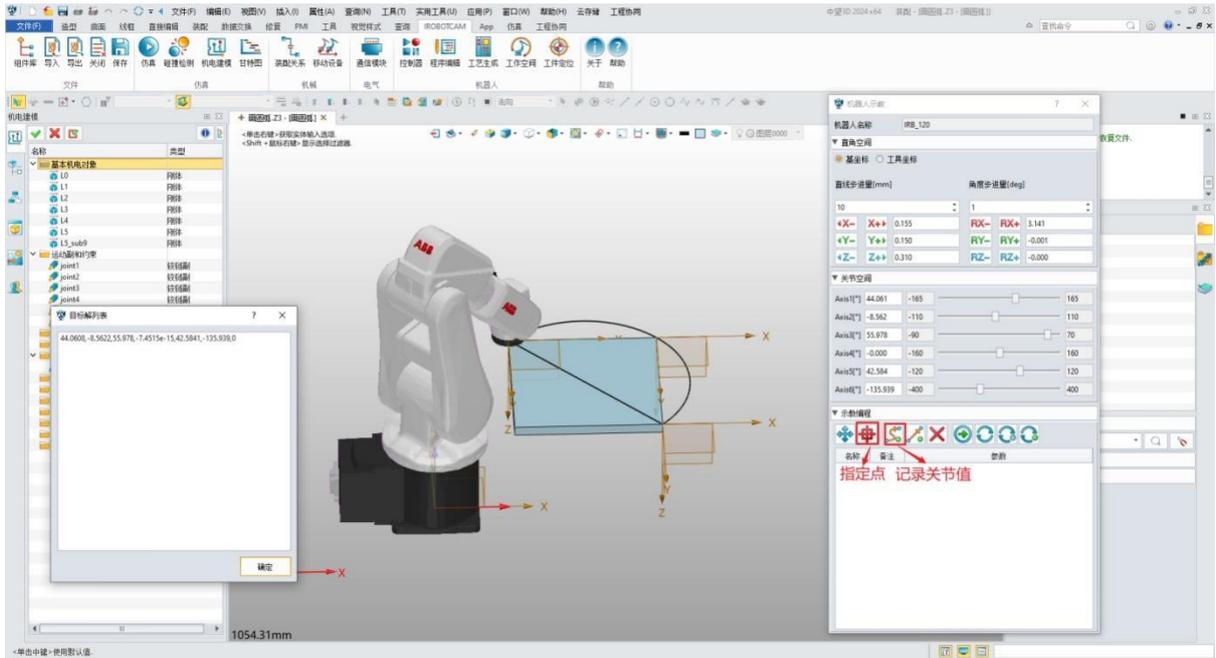


图 9-7: 添加标记点

- 记录末端值：单击 "标记点"，选择 "CSYS2" 和 "CSYS3"，然后单击 "记录末端值" 按钮添加记录。

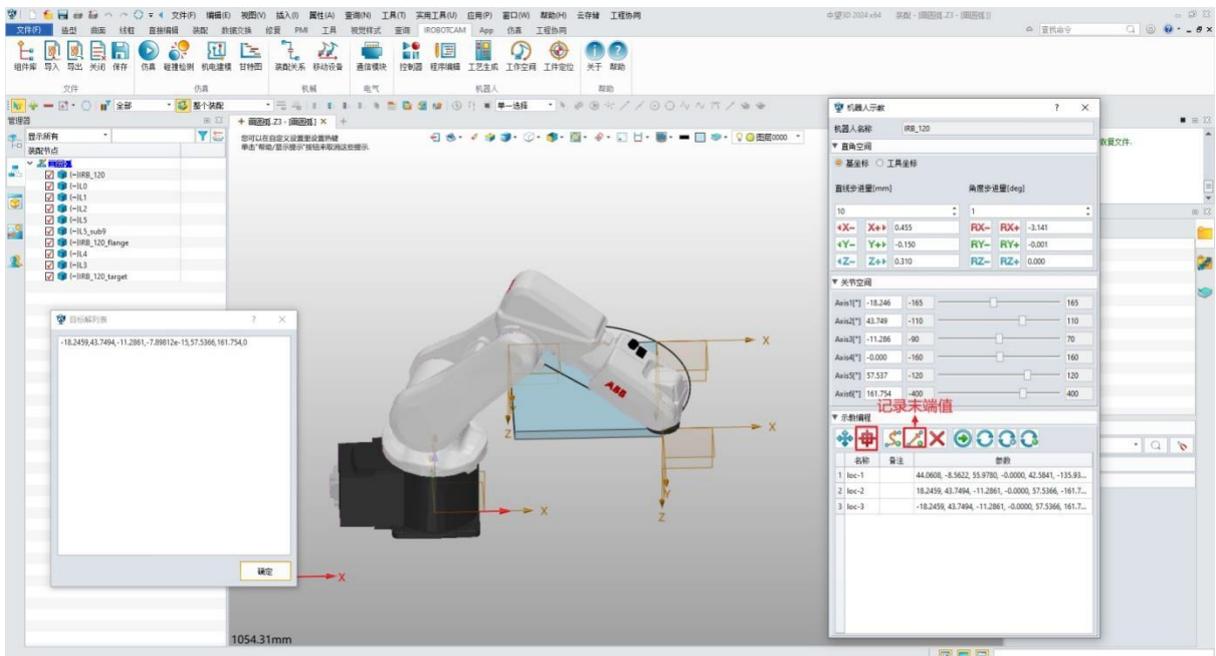


图 9-8: 为点 2 和点 3 添加标记

- 在 "机器人示教" 窗口中单击 loc-1。
- 单击 "箭头" 移动到标记点。

- 将机器人移动到点 1 的位置，单击 "记录末端点" 按钮进行标记，添加记录点 4，最终获得 4 个记录点。
- 在后续的程序编辑中，同一个点不能同时拥有 MOVJ 和 MOVL 指令，所以要添加不同的记录点到同一个位置，以避免程序指令冲突。

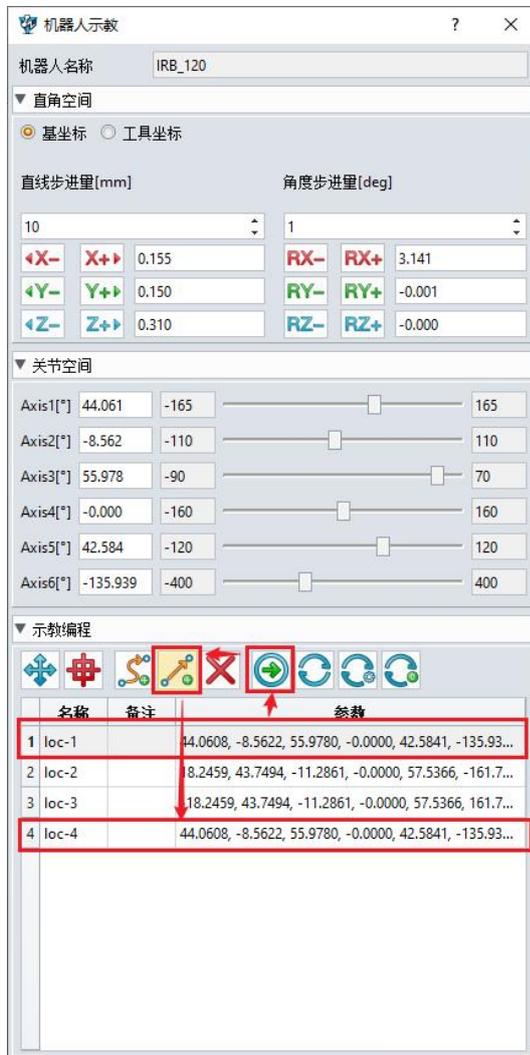


图 9-9: 标记点 4

- 回原点：单击 "回到 Home 点" 按钮将机器人带回其原始位置。

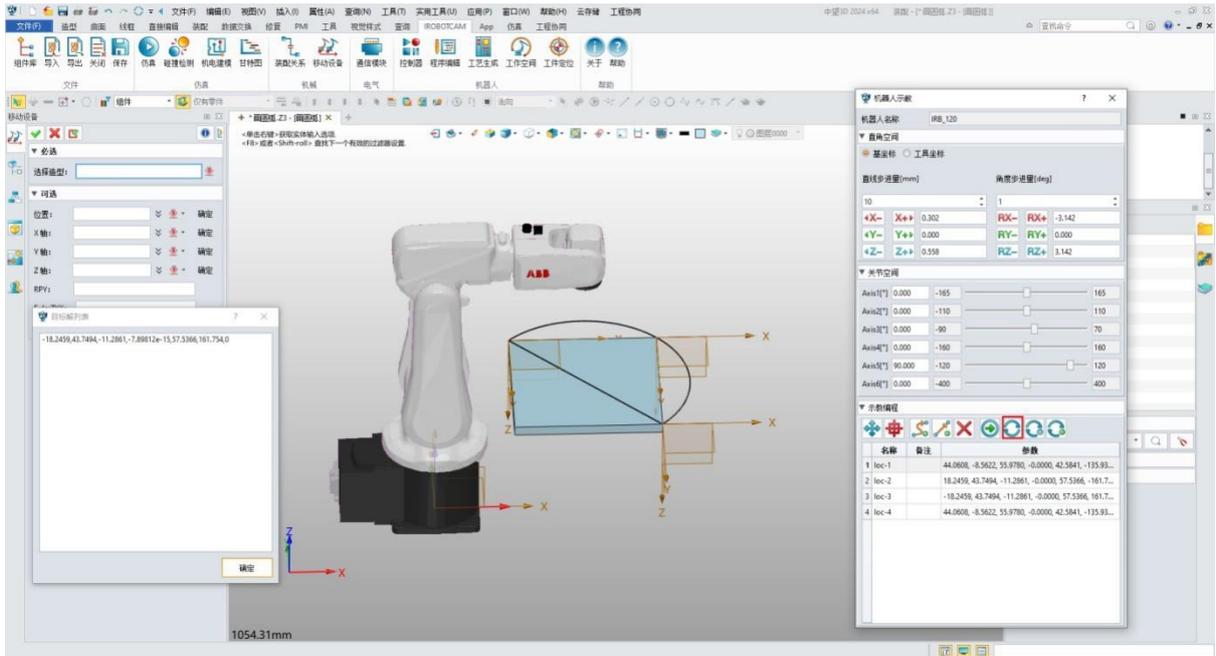


图 9-10: 回到 Home 点

步骤 4: 程序编辑和定义高级运动

- 程序编辑: 在 "IROBOTCAM" 上, 单击 "程序编辑" 按钮。



图 9-8: 程序编辑

- 编辑所选程序: 在 "程序编辑" 窗口中, 右键单击 "program1" 并选择 "编辑程序" 打开程序参数界面。(图 9-12)



图 9-9: 编辑程序

- **添加 MOVJ 指令:** 在 "程序参数" 窗口中, 选择 "运动指令" 中的 "MOVJ", 添加 MOVJ 指令, 并设置参数如图所示。目标点为 loc-1, 其他参数保持默认。单击 "确定"。(图 9-13)

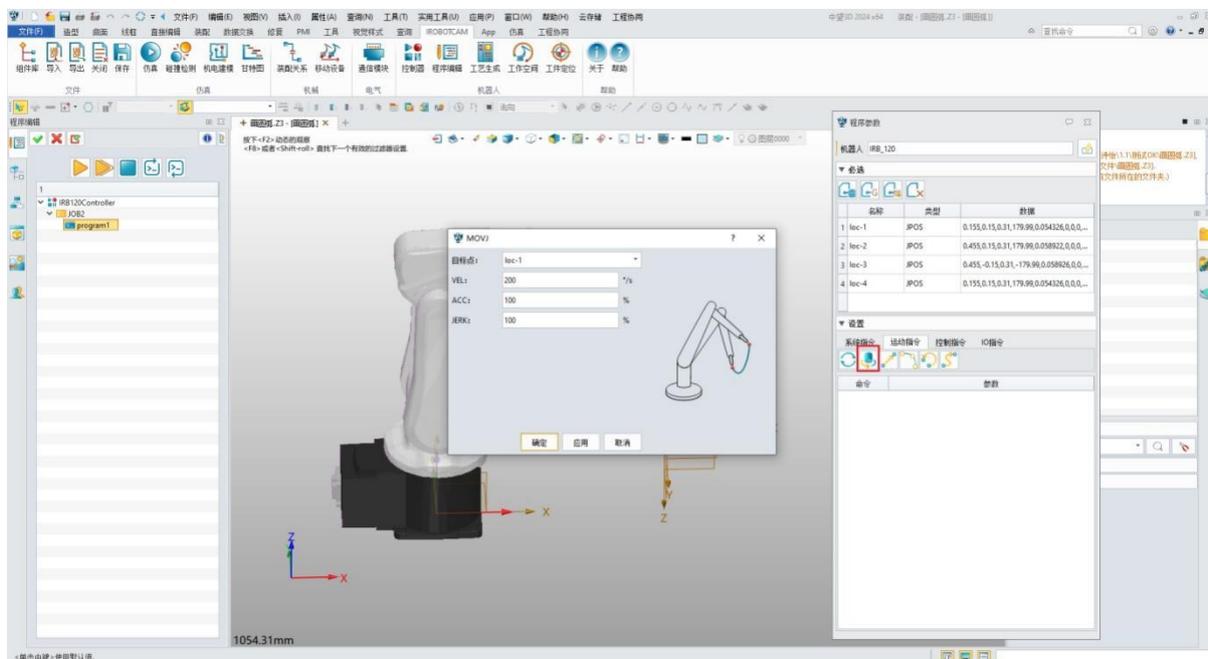


图 9-10: MOVJ

- **添加 MOVA 指令:** 然后添加 MOVA 指令, 参数设置如图所示。目标点为 "loc-3", 中间点为 "loc-2", 其他参数保持默认。单击 "确定"。(图 9-14)

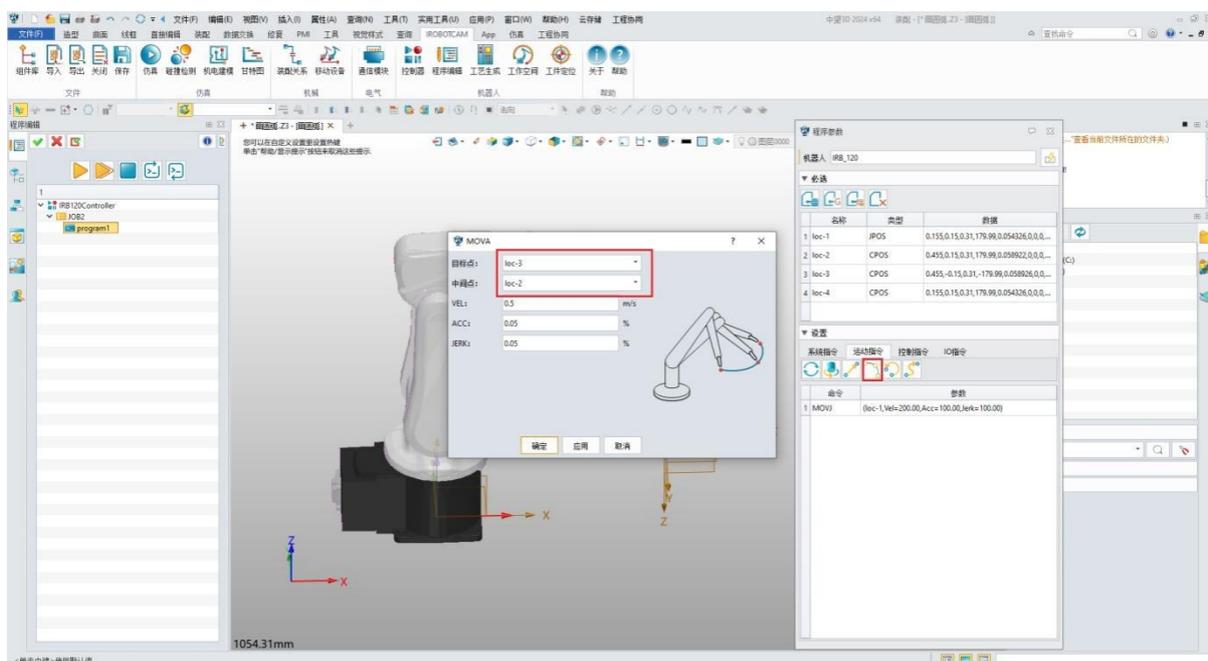


图 9-11: MOVA

- **添加 MOVL 指令:** 然后添加 MOVL 指令，参数设置如图所示，目标点为 loc-4，其他参数保持默认。单击 "确定"。(图 9-15)

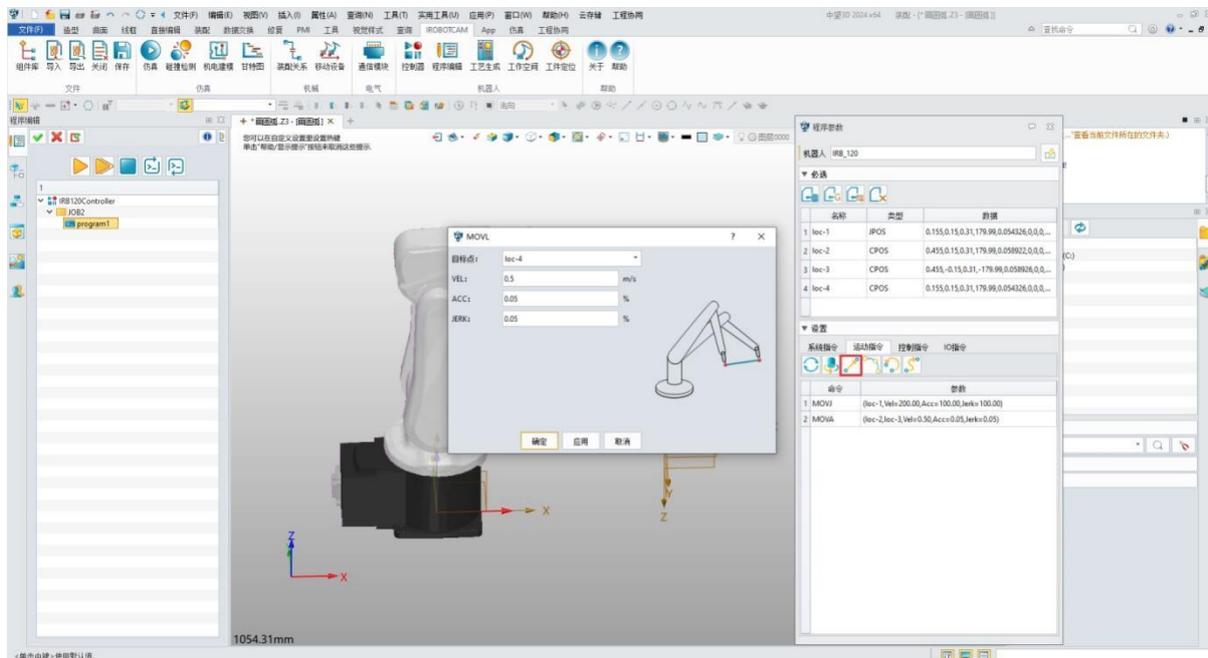


图 9-12: MOVL

步骤 5: 仿真验证和微调

- **开始运行:**单击“程序编辑”窗口中的“运行”按钮。这将启动仿真过程并执行为机器人编写的程序指令。

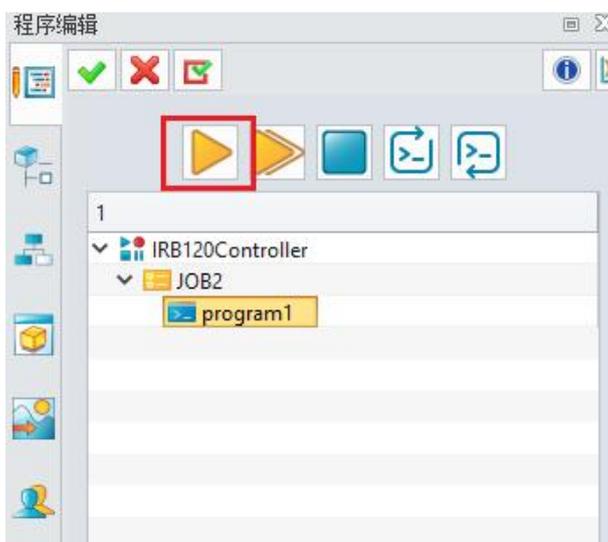


图 9-13: 仿真按钮

- **分析运动：**在仿真过程中观察机器人的运动，并将其与期望的结果进行比较。密切关注机器人的路径、速度和整体行为。

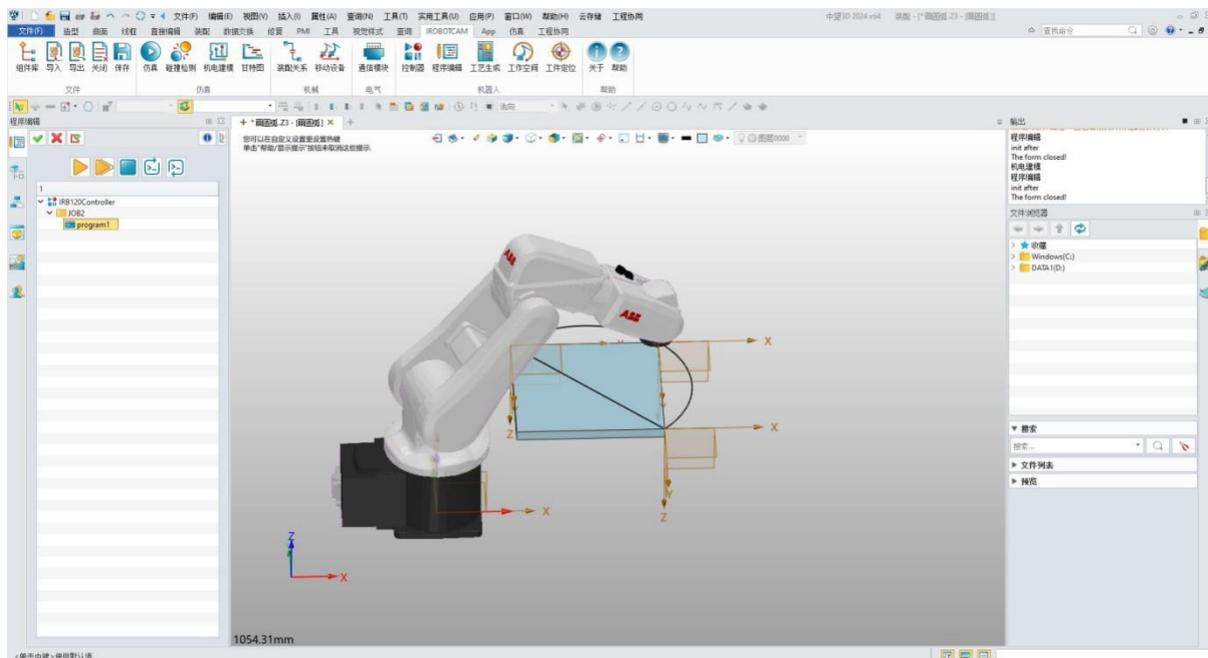


图 9-14：仿真实验

第十章：机器人抓与放

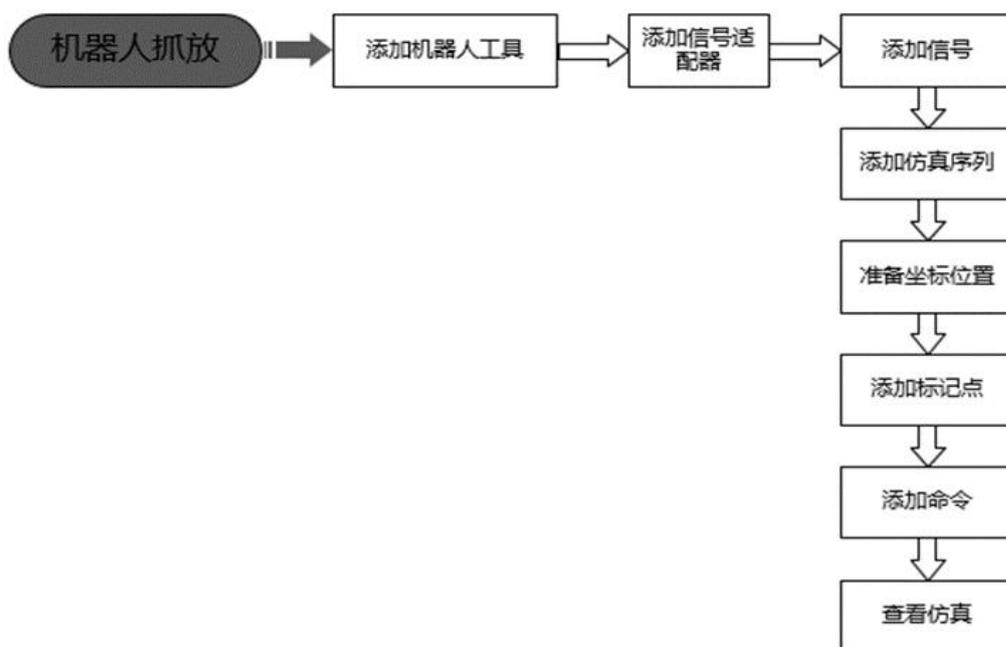


图 10-1：机器人抓与放流程图

步骤 1：打开 iRobotCAM 项目文件

- 打开 iRobotCAM 项目文件“机器人抓与放.Z3”，进入 IROBOTCAM 环境。（图 10-2）

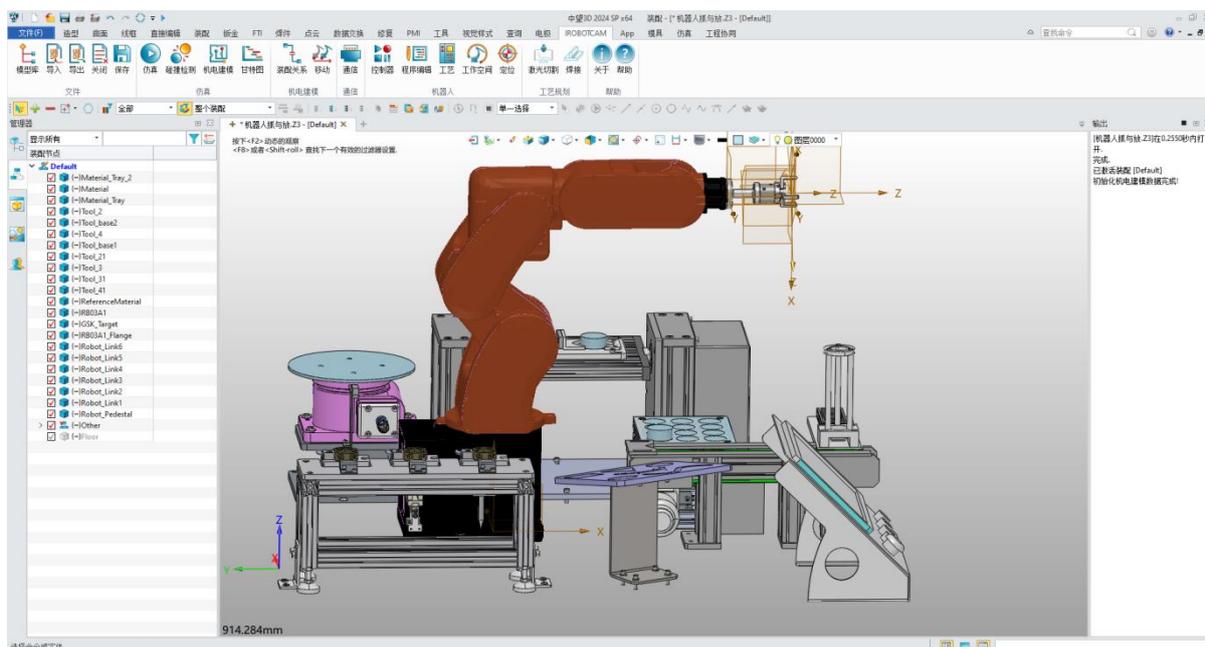


图 10-2: 界面详细信息

步骤 2: 添加滑动副

- 创建完成机器人 GSK 并定义其刚体和碰撞体后，下一步是添加机器人工具的滑动副。操作步骤如下：
 - ◇ 打开“IROBOTCAM”选项卡并单击“机电建模”按钮。
 - ◇ 右键单击“运动副和约束”按钮并选择“添加滑动副”。
 - ◇ 在子节点栏，选择以下刚体：（图 10-3）

Tool_2

Tool_21

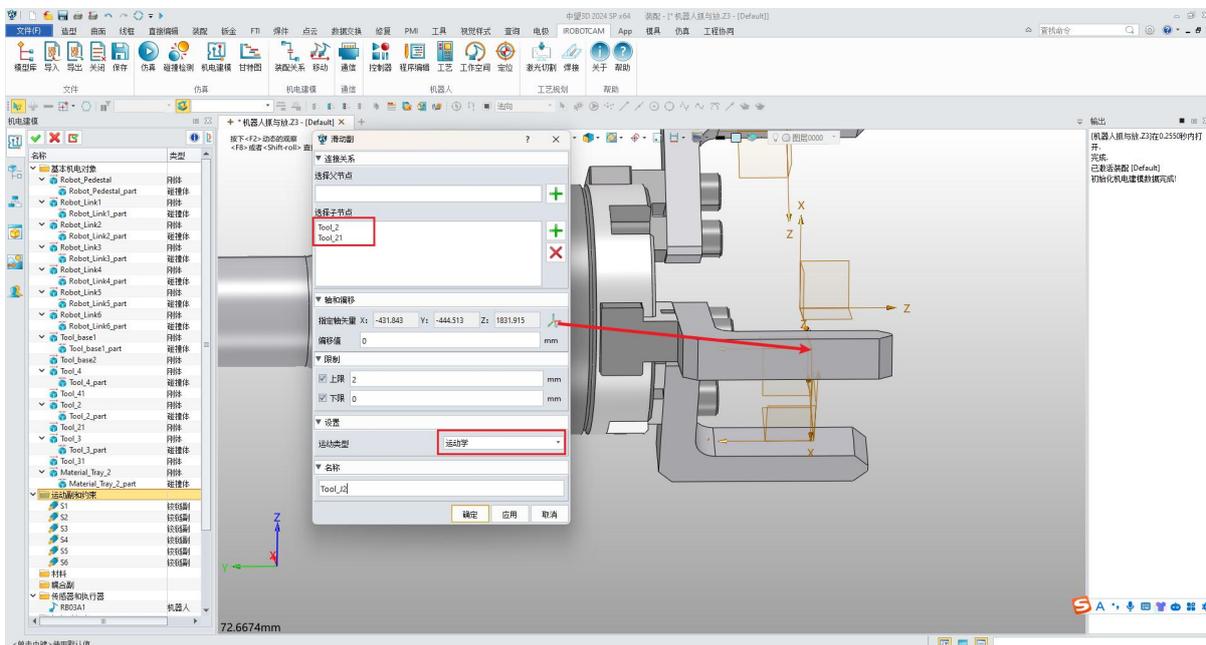


图 10-1: W1 滑动副

- 指定轴矢量：单击选定刚体上构建的“CSYS16”定义关节的运动轴。
- 设置限制：在“上限”字段中输入“2”，在“下限”字段中输入“0”。这些值表示关节在正负方向上可以移动的最大距离。
- 选择运动类型，为此关节选择“反解”。
- 命名关节：为关节输入一个描述性名称，例如“W1”。
- 对剩余两对爪子重复上述操作步骤：
 - ◇ “Tool_J3”：子节点：“Tool_3”和“Tool_31”，轴矢量：“CSYS18”。
 - ◇ “Tool_J4”：子节点：“Tool_4”和“Tool_41”，轴矢量：“CSYS13”。
- 验证高亮显示：添加三个关节后，单击每个关节以验证爪子对应的部分是否高亮显示正确。（图 10-4）

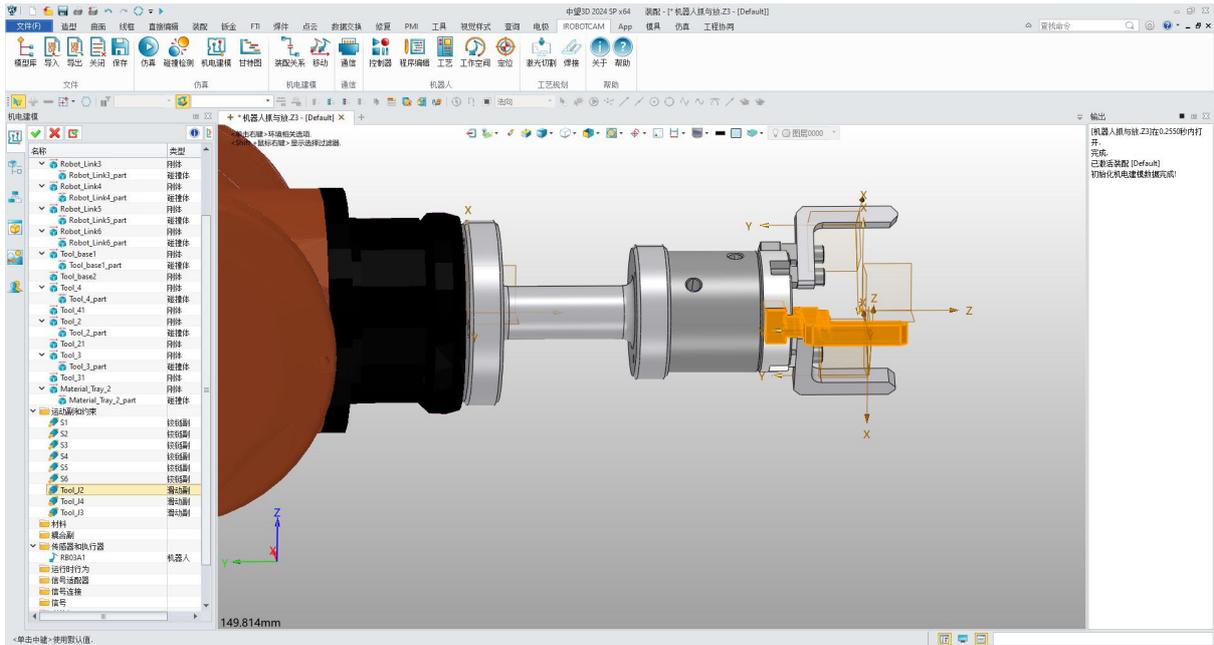


图 10-2: 三个滑动副

步骤 3: 添加传感器

- 右键单击“传感器和执行器”按钮。
- 选择“添加传感器”。
- 定义传感器尺寸，将“长度”、“宽度”和“高度”设置为 25。
- 指定坐标系：点击“CSYS8”即为传感器的坐标系。
- 命名传感器，为传感器输入一个描述性名称。
- 将窗口其他设置选择默认值。
- 单击“确定”将传感器添加到场景中。（图 10-5）

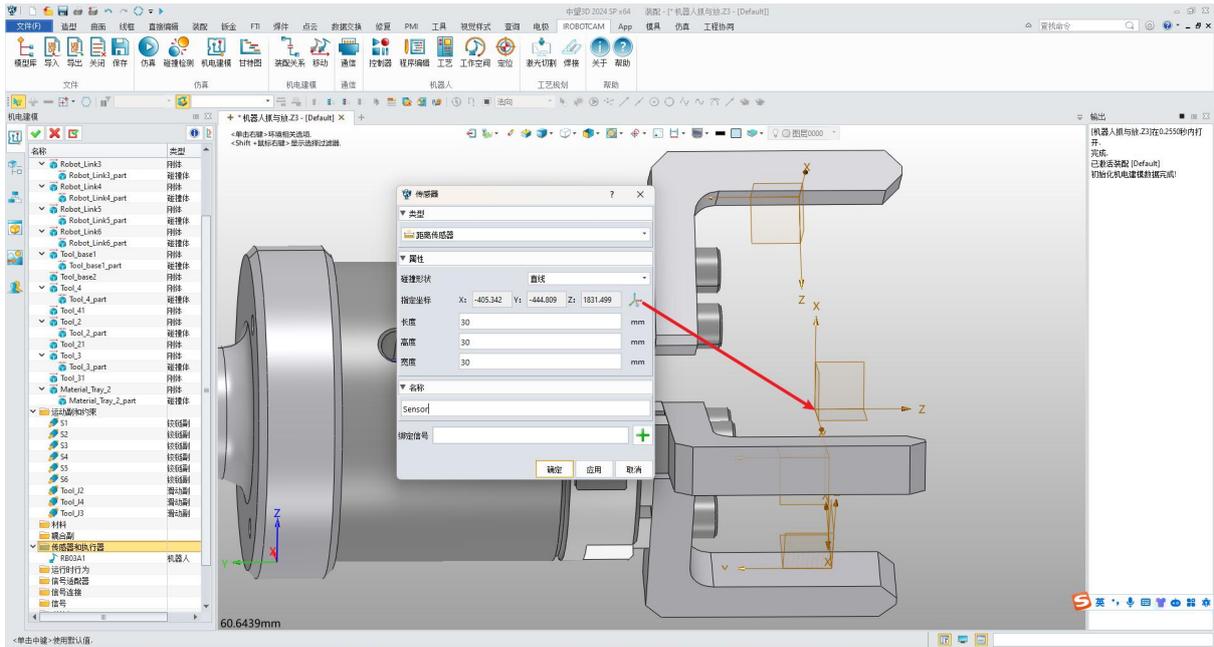


图 10-3： 传感器

步骤 4： 添加信号

- 右键单击“信号”按钮。
- 选择“添加信号”。
- 定义信号类型，在“IO 类型”字段中，选择“输出”，将信号定义为输出信号。
- 命名信号，例如“Tool_out”。
- 设置端口，在“端口”字段中输入 -1。
- 单击“确定”。（图 10-6）

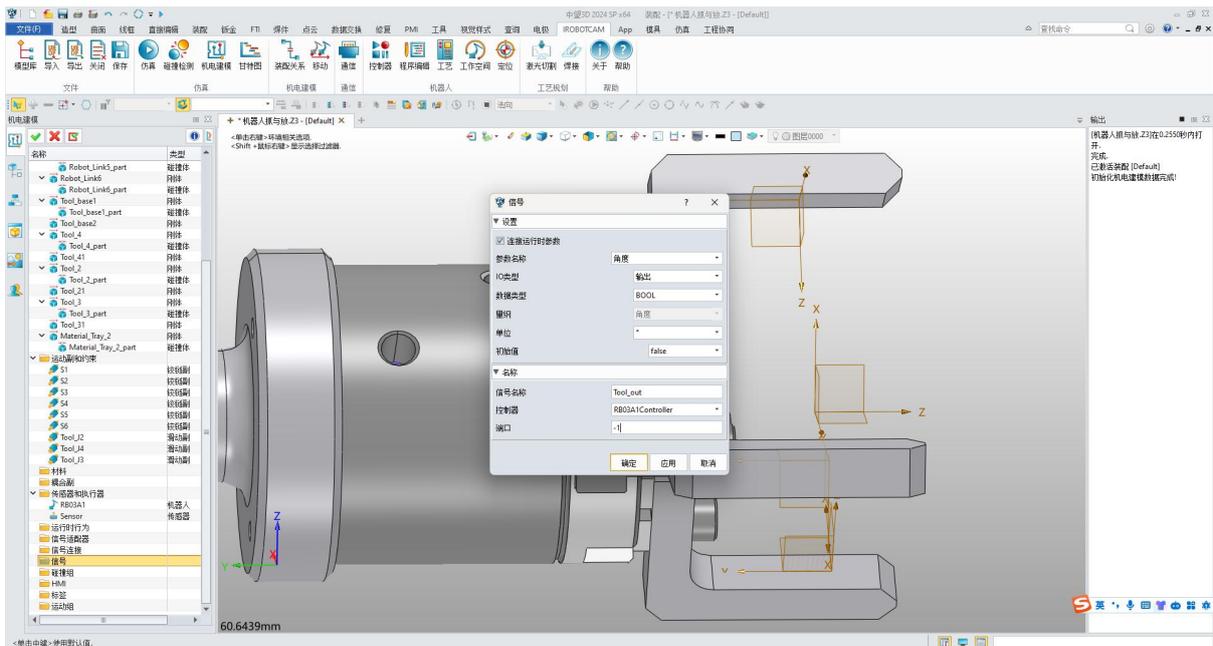


图 10-4：添加输出信号

步骤 5：添加机器人工具

- 右键单击“传感器和执行器”按钮。
- 选择“添加机器人工具”。
- 选择运动副，单击 + 按钮并选择您之前创建的“三个滑动副”。
- 设置速度，在“速度”字段中输入“100”，定义工具运动的速度。
- 选择刚体，选择代表机器人工具底座部分的刚体。
- 分配传感器：在“感应点”字段中，选择您之前创建的传感器。
- 定义基座标，在“基座坐标”字段中，选择“CSYS9”坐标系。
- 选择工具中心坐标。
- 分配信号，单击“信号”旁边的 + 按钮并选择您之前创建的“Tool_out”信号。
- 命名工具：为机器人工具输入一个描述性名称，例如“Tool”。
- 单击“确定”按钮。（图 10-7）

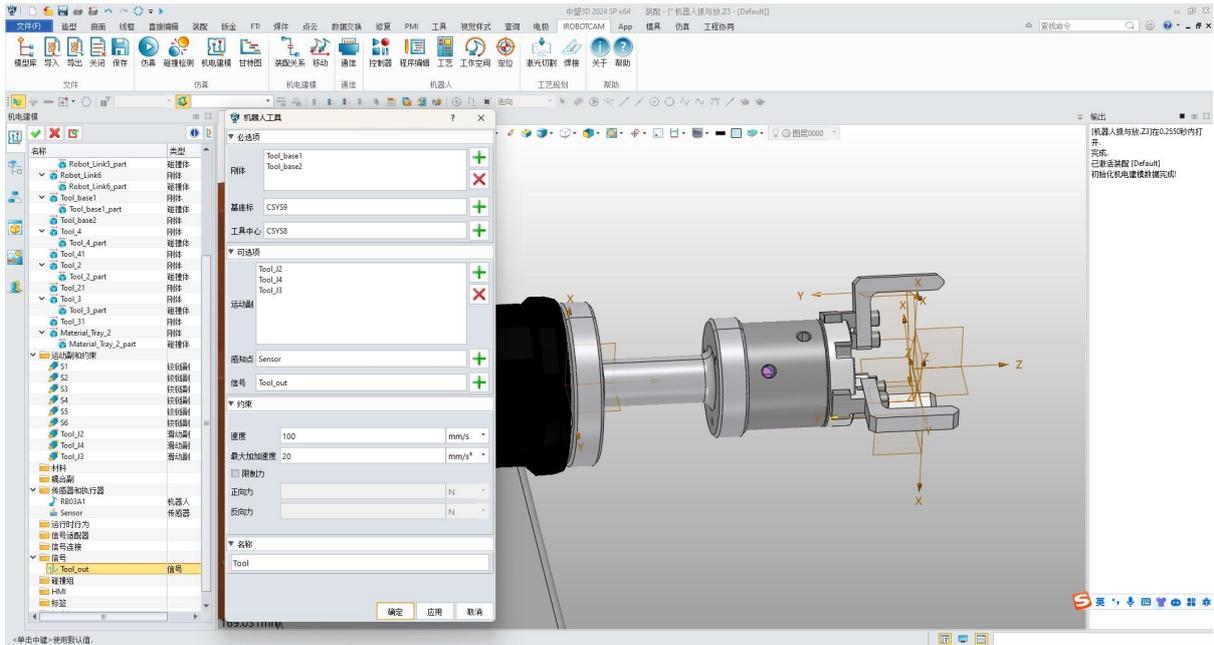


图 10-5: 机器人工具

步骤 6: 建立装配关系

- 单击“IROBOTCAM”选项卡中的“装配”按钮。
- 单击“添加”按钮。
- 选择子设备，选择您在前面步骤中创建的“Tool”机器人工具。
- 在机器人上安装，在“父装置”列表中，选择“RB03A1”机器人。
- 单击“确定”按钮进行确认。（图 10-8）

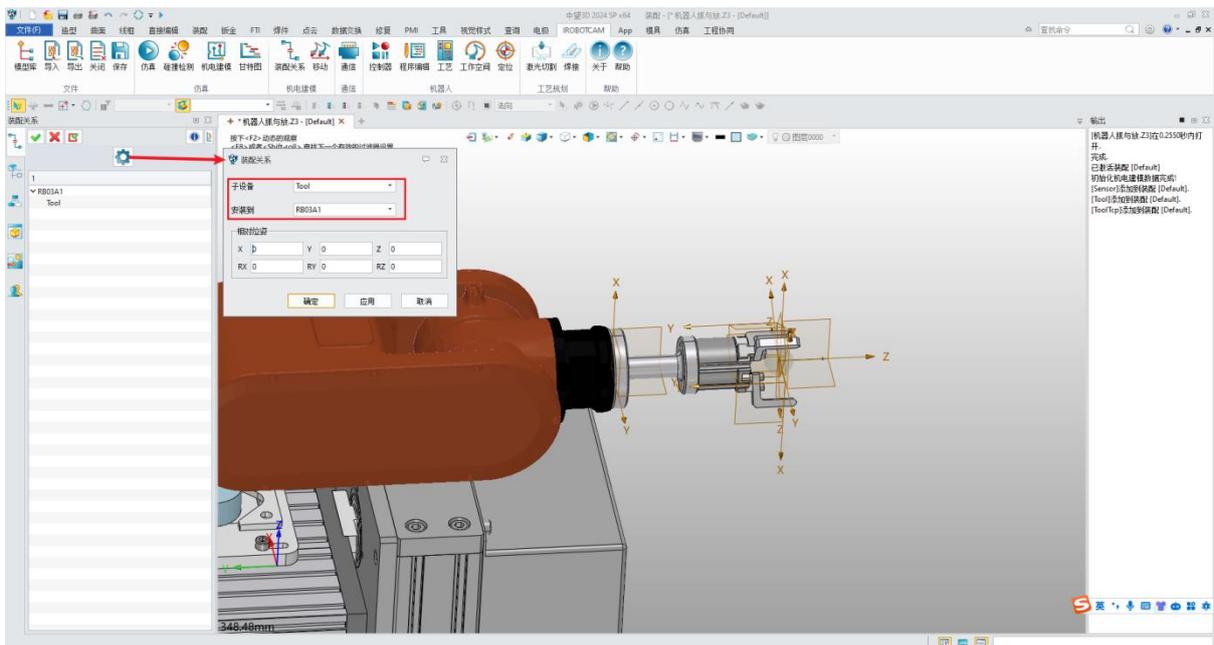


图 10-6: 装配关系

步骤 7: 添加信号适配器 (2)

- 右键单击“信号适配器”按钮。
- 选择“添加信号适配器”。(图 10-9)



图 10-7: 添加信号适配器

- 选择机器人，单击 “+ ” 按钮并选择 “RB03A1” 机器人。
- 命名并设置数据类型，为信号适配器输入一个描述性名称，例如 “RB03A1_S”。在 “数据类型” 字段中，选择 “Bool” 表示信号传输布尔值。
- 在公式栏中，填写 “RB03A1_S” 并将信号命名为 “RB03A1_SD”。(图 10-10)

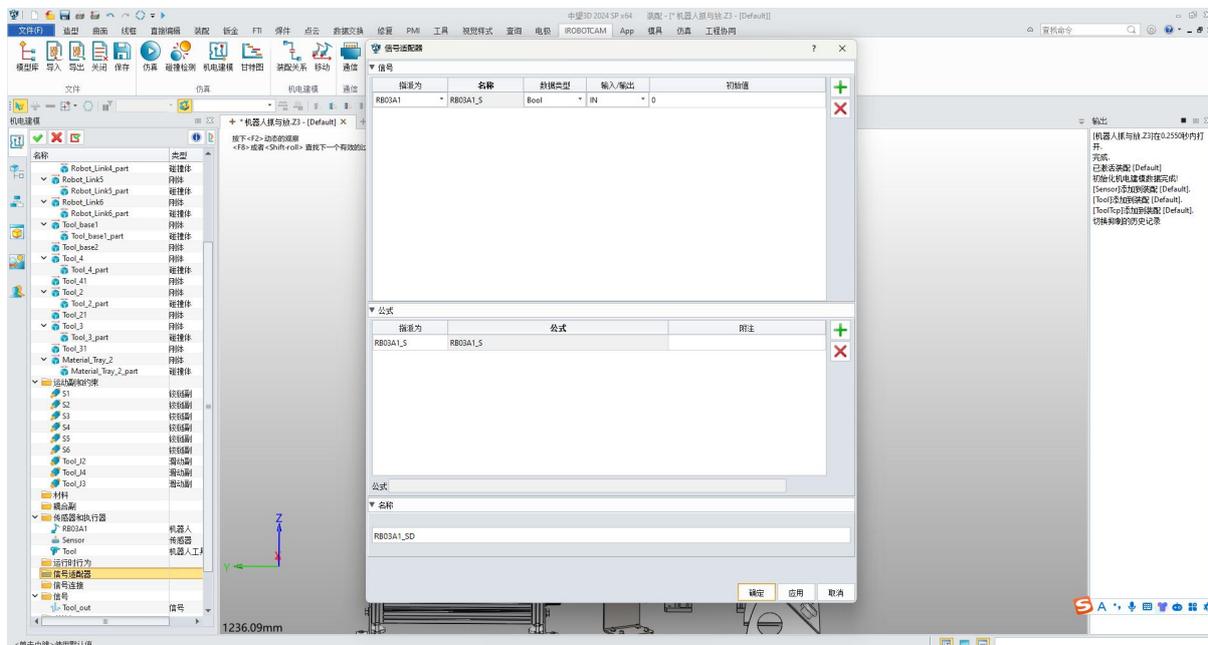


图 10-8: 信号适配器 RB03A1

- 对机器人工具重复上述操作，分配适当的名称和数据类型（例如“Tool_S”和“Float”）。（图 10-11）

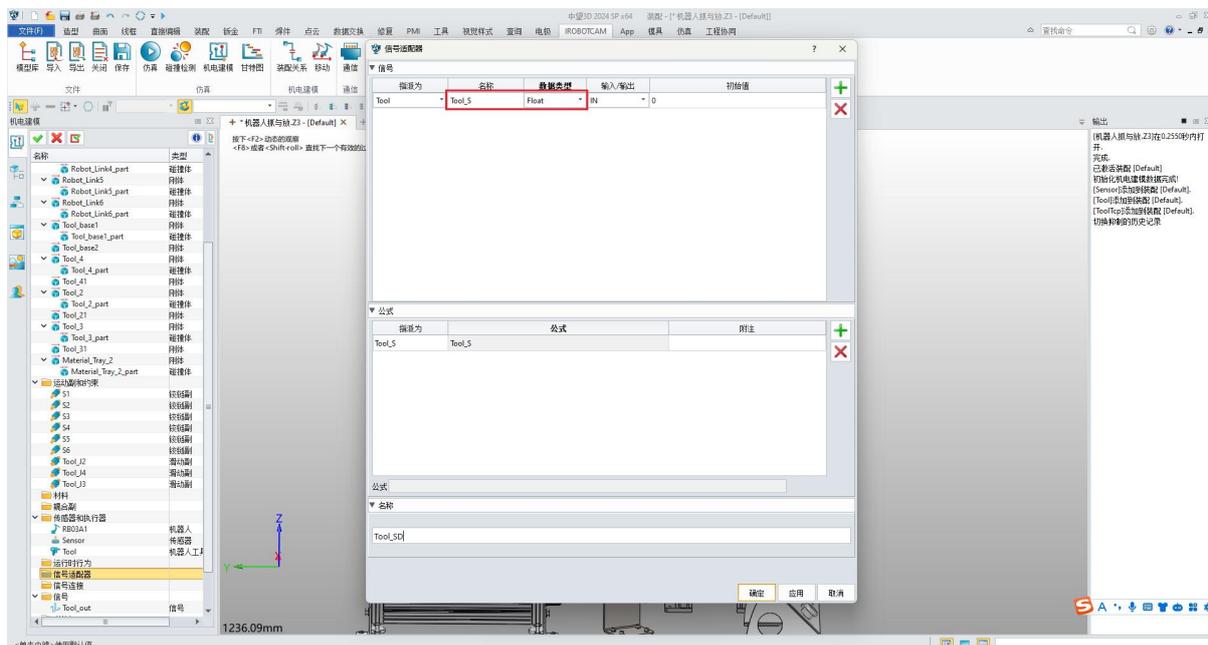


图 10-9: 信号适配器工具

步骤 8: 添加信号

- 右键单击“信号”。
- 选择“添加信号”按钮。（图 10-12）



图 10-10: 添加信号

- 设置输入类型，在“IO 类型”字段中，选择“输入”将信号定义为输入信号。
- 命名信号，例如“Tool_opt”。
- 设置端口，在“端口”字段中，输入“0”指定接收信号的端口。
- 单击“确定”按钮进行确认。（图 10-13）



图 10-11：信号

步骤 9：添加仿真序列（3）

- 右键单击“运行”按钮。
- 选择“添加仿真序列”。（图 10-14）

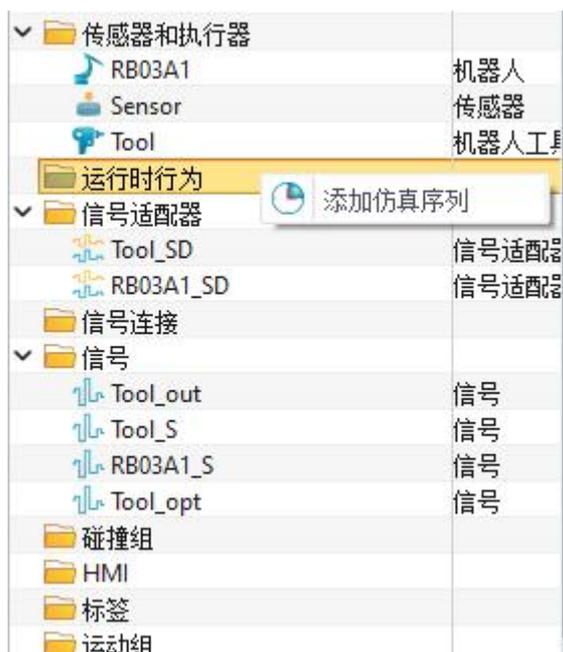


图 10-12: 添加仿真序列

- 定义 RB03A1_EXEC 序列：（图 10-15）
- ◇ 开始时间：1
- ◇ 持续时间：999999（基本上是持续执行）
- ◇ 激活和终止信号：未勾选（没有特定的激活或结束触发器）
- ◇ 执行信号：RB03A1_S（控制机器人的整体运动）
- ◇ 终止位置：1（可能定义了机器人的最终位置）
- ◇ 名称：RB03A1_EXEC。



图 10-13: GSKRobot_EXEC

- 定义 Tool_catch_EXEC 序列：（图 10-16）
- ◇ 开始时间：0
- ◇ 持续时间：5
- ◇ 激活信号：勾选（需要激活）
- ◇ 激活条件：Tool_opt = True
- ◇ 执行信号：Tool_S（控制机器人工具的运动）
- ◇ 结束位置：1（可能定义了抓取过程中工具的最终位置）
- ◇ 名称：Tool_catch_EXEC



图 10-146: Tool_catch_EXEC

- 定义 Tool_pull_EXEC 序列：（图 10-17）
- ◇ 开始时间：0
- ◇ 持续时间：5
- ◇ 激活信号：勾选（需要激活）
- ◇ 激活条件：Tool_opt = False
- ◇ 执行信号：Tool_S（控制机器人工具的运动）
- ◇ 终止位置：0（可能定义了释放后工具的最终位置）
- ◇ 名称：Tool_pull_EXEC



图 10-157: Tool_pull_EXEC

- 三个模拟序列定义了机器人和机器人工具的整体行为。它们指定不同操作的时序、激活条件和执行信号：
 - ✧ RRB03A1_EXEC: 该序列控制机器人在整个模拟过程中的主要运动。
 - ✧ Tool_catch_EXEC: 当信号“Tool_opt”变为 True 时，该序列会触发机器人工具向物体移动并抓住它。
 - ✧ Tool_pull_EXEC: 当信号“Tool_opt”变为 False 时，该序列会触发机器人工具远离物体并将其放下。

步骤 10: 添加刚体和碰撞体

- 给物料“Material”添加刚体：（图 10-18）
 - ✧ 在 IROBOTCAM 界面中点击“基本机电对象”。
 - ✧ 右键单击并选择“添加刚体”。
 - ✧ 选择所需的刚体。
 - ✧ 材料默认选择。
 - ✧ 属性设置保持未勾选。
 - ✧ 单击“OK”确认并添加刚体。

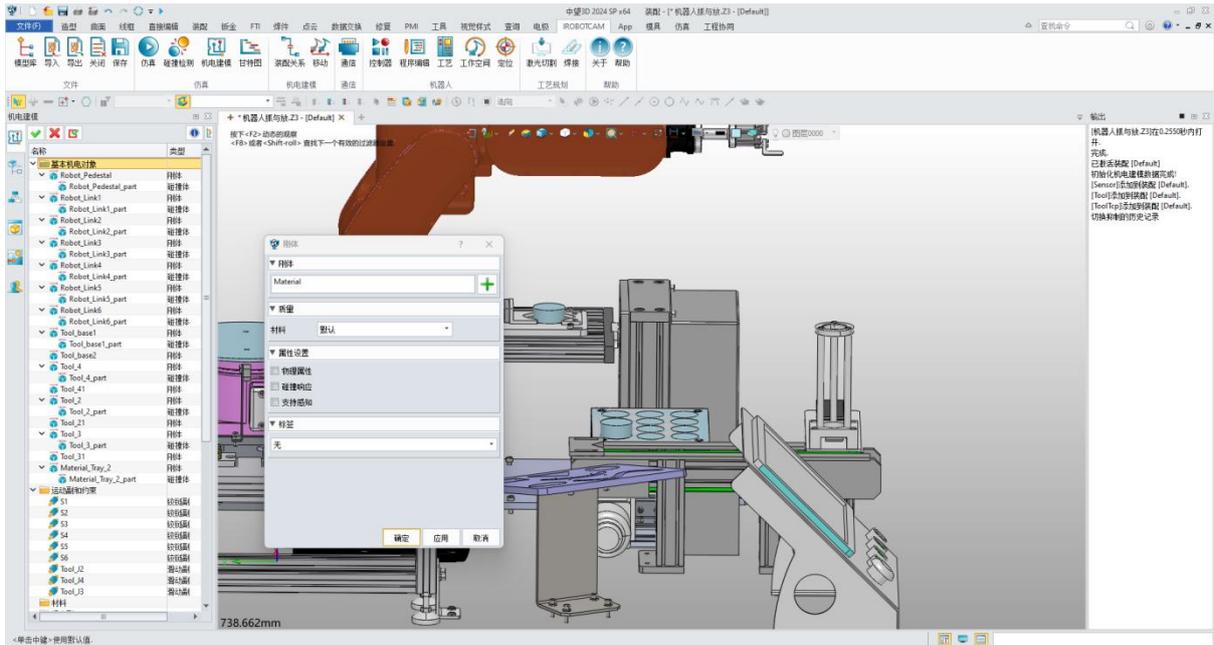


图 10-168：添加刚体

- 给“Material”添加碰撞体：（图 10-19）
- ◇ 再次右键单击“基本机电对象”。
- ◇ 选择刚刚添加的刚体。
- ◇ 选择“凸分解”作为碰撞形状。
- ◇ 勾选所有三个属性设置：
 - 物理属性
 - 碰撞响应
 - 支撑感应
- ◇ 设置材料为默认值
- ◇ 单击“OK”确认并添加碰撞体。

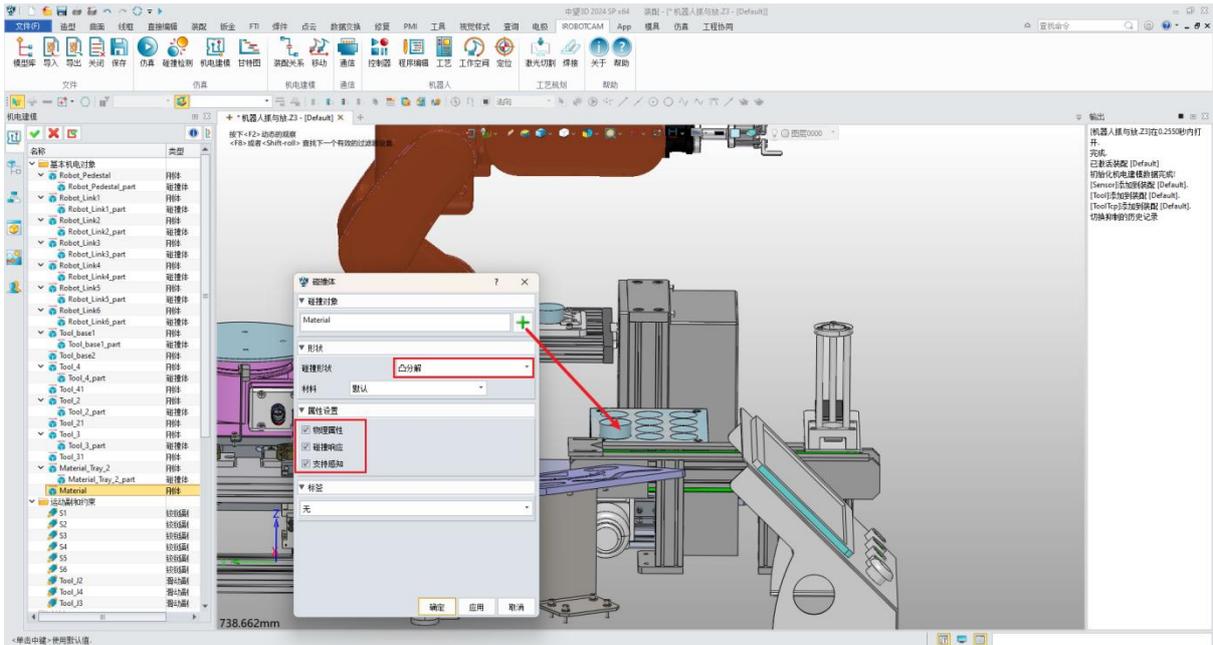


图 10-179：添加碰撞体

- 给“Materia_Tray”添加刚体：（图 10-20）
- ◇ 重复与添加材料“Materia”刚体类似的步骤。
- ◇ 选择代表支撑台的刚体。
- ◇ 属性设置为默认值。
- ◇ 单击“OK”确认并添加刚体。

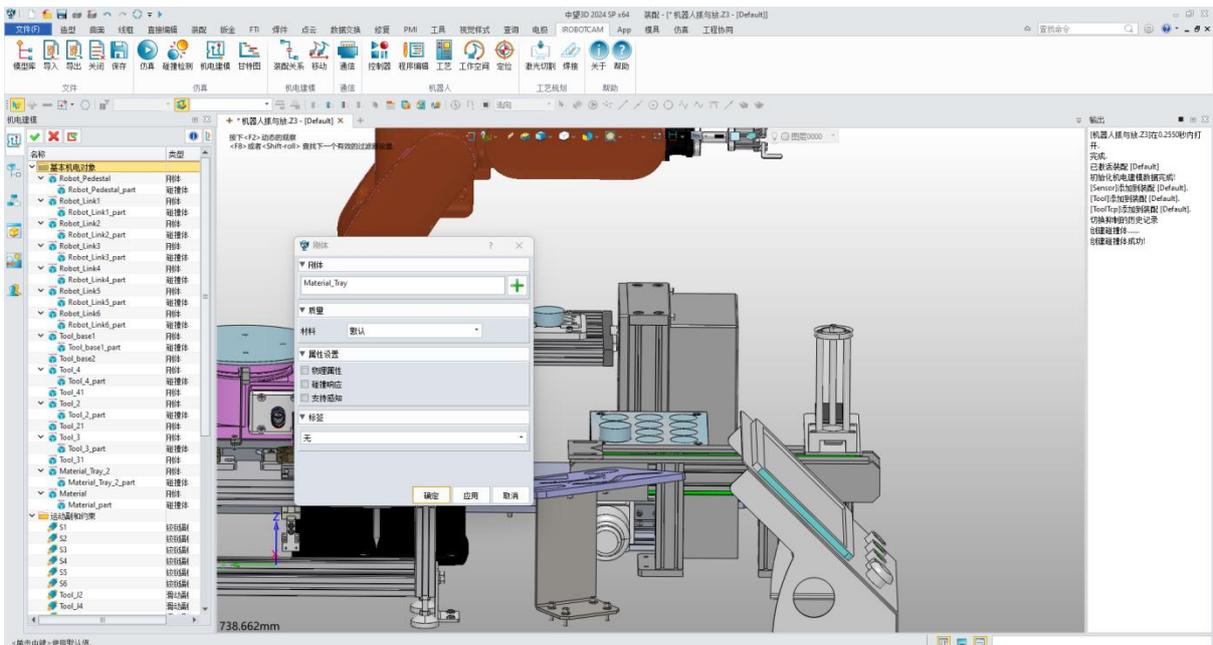


图 10-20：添加物料支撑台刚体

- 给“Materia_Tray”添加碰撞体：（图 10-21）
- ◇ 重复与添加材料“Materia”碰撞体类似的步骤。
- ◇ 选择代表支撑台的刚体。
- ◇ 选择“凸分解作为碰撞形状。
- ◇ 属性设置为默认值。
- ◇ 材料为默认。
- ◇ 单击“OK”确认并添加碰撞物体。

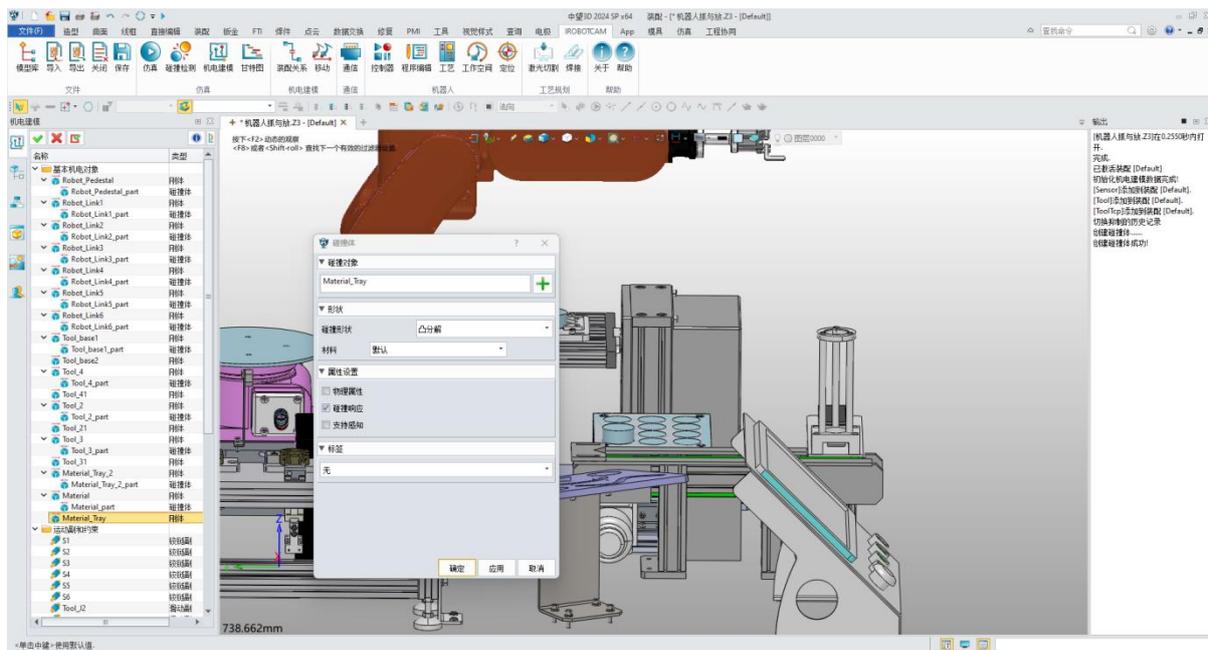


图 10-218：添加碰撞

步骤 11：准备坐标位置

- 单击“造型”栏中的“基准 CSYS”选项。
- 这将允许你直接在物料本身上创建坐标系。
- 确保“Z 轴”方向朝下。（与工具的工具中心的坐标保持一致）
- 选择“动态坐标系”选项以启用在仿真过程中实时更新坐标系。
- 在空白处右键单击并选择“曲率中心”。（图 10-22）

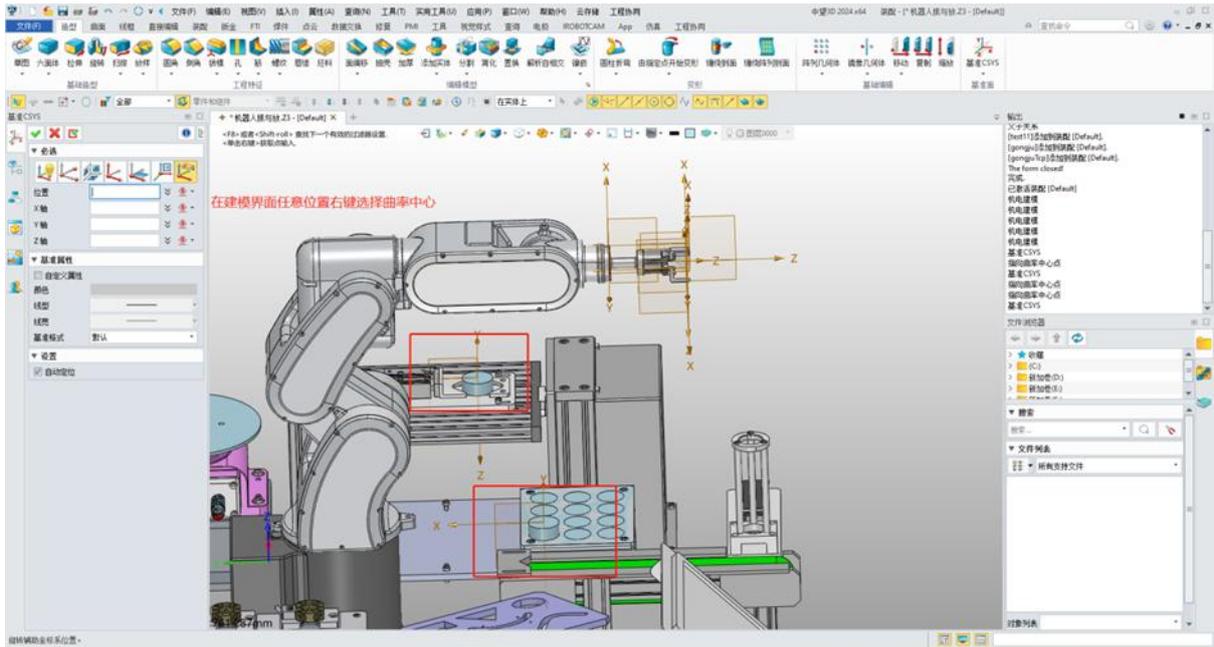


图 10-22: 坐标位置

步骤 12: 添加标记点

- 隐藏不必要的坐标系:
 - ◇ 选择机器人工具上的 CSYS8 和 CSYS18 坐标系。
 - ◇ 按住 Shift 键并选择所有其他显示的坐标系。
 - ◇ 取消勾选所有选中的坐标系，将它们从场景中隐藏。（图 10-23）

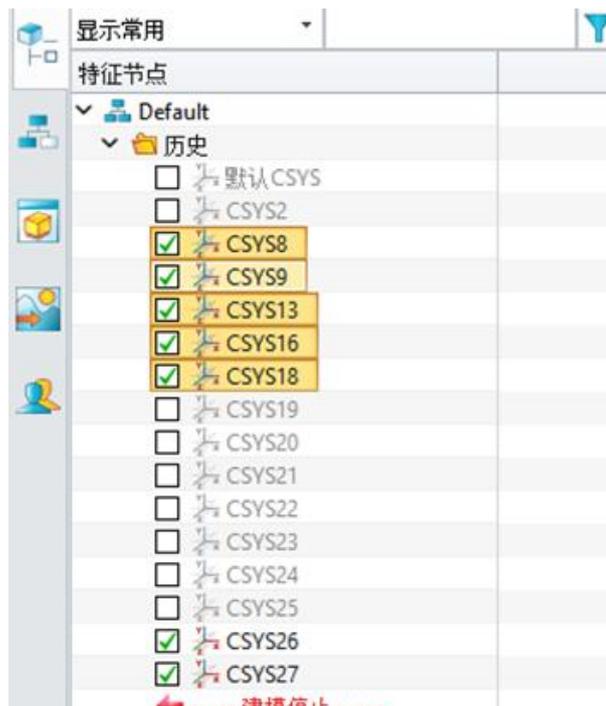
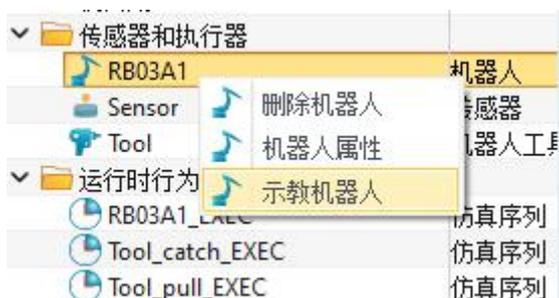


图 10-23: 隐藏坐标系统

- 示教机器人运动:
- ◇ 导航到“RB03A1”选项卡下的“传感器与执行器”部分。
- ◇ 右键单击并选择“示教机器人”开始添加标记点。(图 10-24)



● 图 10-24: 示教机器人

- 添加标记点:
- ◇ 将机械臂的第五个关节设置为 90 度。
- ◇ 单击“记录关节位置”将此位置标记为第一个点。(图 10-25)

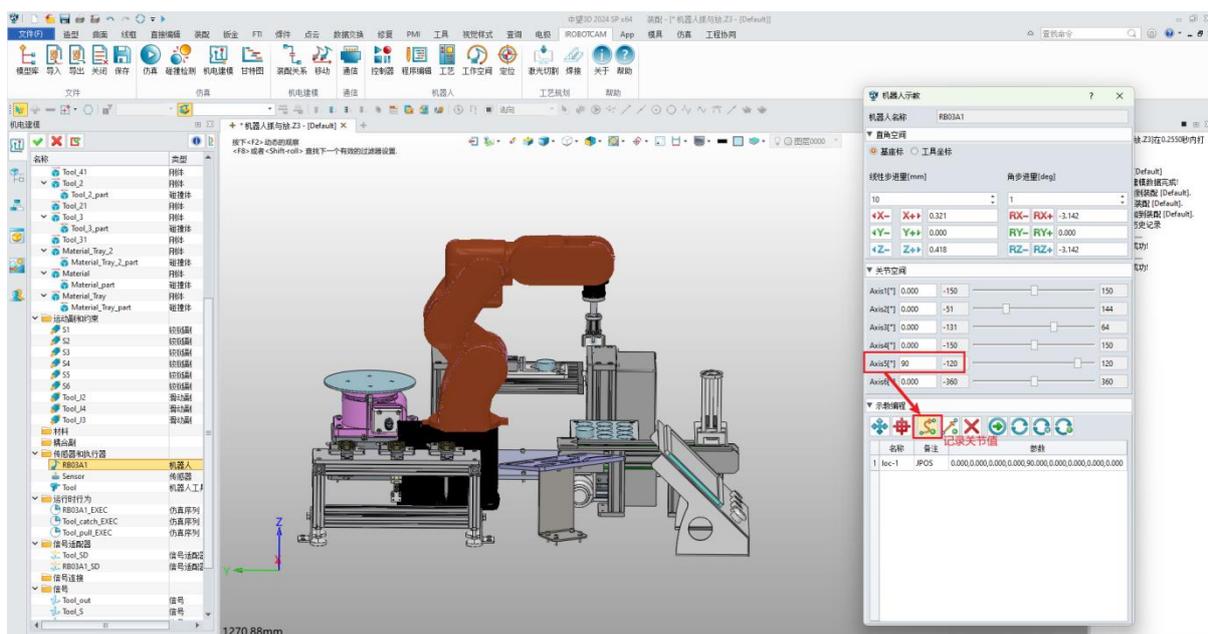


图 10-25: 第一个点

- 单击“指定点”按钮并选择在刚体上建立的坐标系。
- 使用“拖动示教”并使用 XYZ 轴调整机器人夹持器的位置。
- 单击“记录末端值”将其标记为第二个点。(图 10-26)

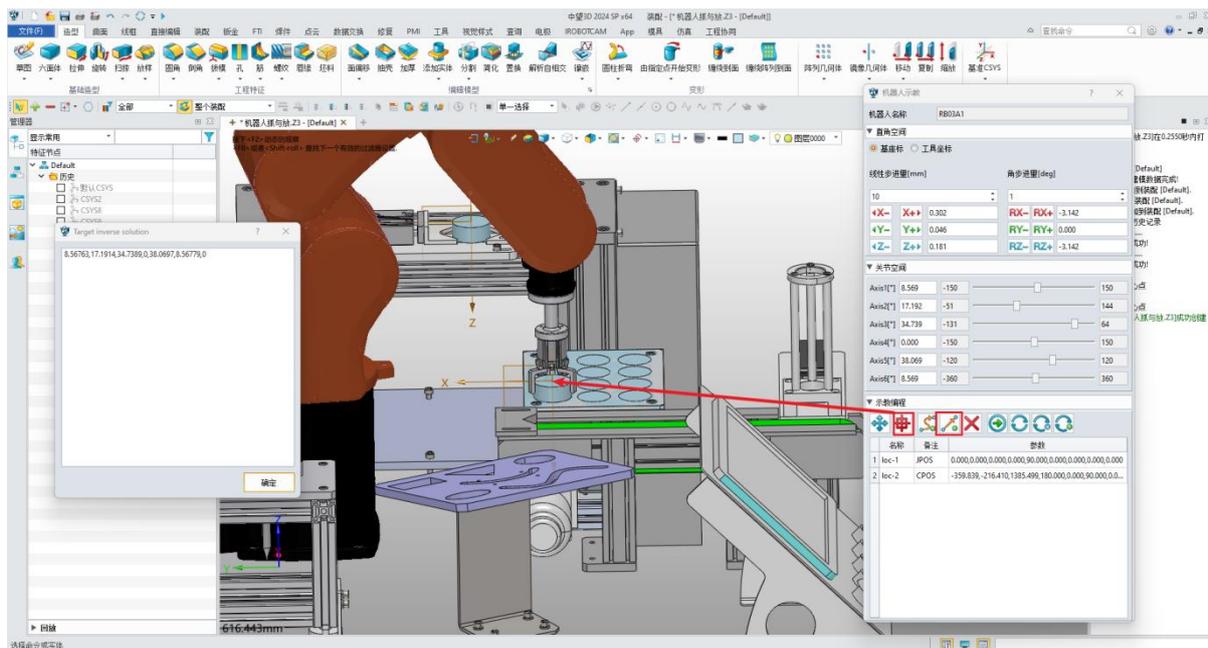


图 10-26: 第二个点

- 重复“拖动示教”和“记录末端值”过程，为机器人的运动标记额外的点，包括向上的位置和夹持器与另一个刚体分离的位置。
- 最后，单击“回零”将机器人返回到其初始位置。（图 10-27）



图 10-27: 标记完成

步骤 13: 添加命令

- 导航到“IROBOTCAM”选项卡，单击“程序编辑”按钮。（图 10-28）

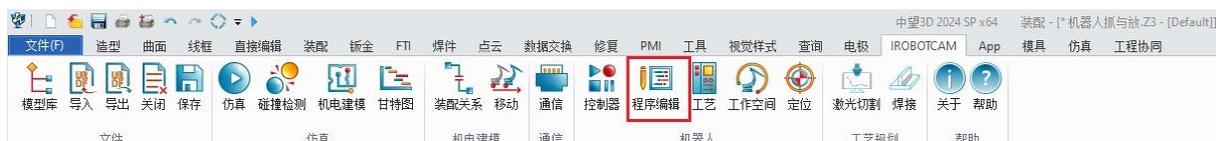


图 10-28: 程序编辑

- 添加 JOB 和程序：
 - ✧ 在左侧窗口中，右键单击“RB03A1Controller”并选择“添加 JOB1”。
 - ✧ 单击新添加的“JOB1”，右键单击并选择“添加 Program1”。（图 10-29）



图 10-29: 编辑程序

- 编辑程序参数:

- ◇ 右键单击“program1”进行编辑，会出现一个程序参数窗口。
- ◇ 添加程序中使用的命令位置和名称。（图 10-30）

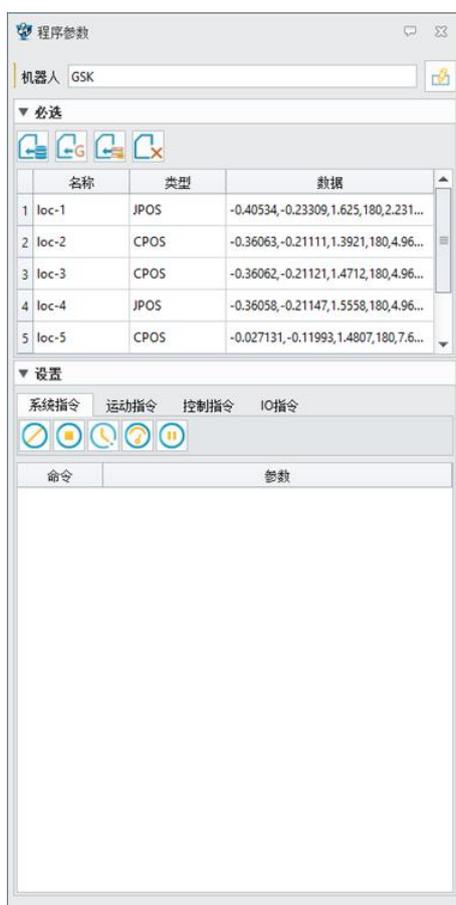


图 10-30: 程序参数

- 定义等待时间和 端口 值：
 - ◇ 将 WAIT（毫秒）的值设置为“1000”。
 - ◇ 将 DOUT 的端口值定义为“0”，激活条件为“1”。（图 10-31）



图 10-31: 指令

- 调整 MOVL 参数：
 - 修改“MOVL”命令下的参数值。（图 10-32）

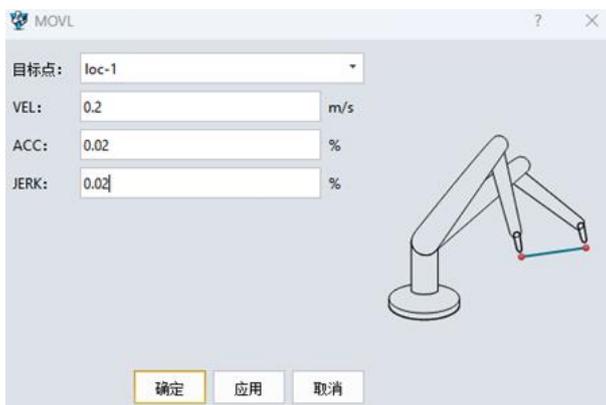


图 10-32: MOVL

- 添加命令并修改 MOVJ 参数：
 - ◇ 根据提供的样式添加命令。
 - ◇ 具体来说，将第七行的 MOVJ 命令参数更改为“100, 50, 50”。（图 10-33）



图 10-33: 命令

- 这些步骤确保机器人遵循特定的命令并根据标记的点和定义的参数执行所需的拾取和放置操作。

步骤 14: 仿真验证

- 清理界面:
 - ◇ 取消勾选所有坐标系以提高界面清晰度。
 - ◇ 此外，隐藏了组件“ReferenceMaterial”以更好地可视化机器人的抓手及其与物体的交互。（图 10-34）

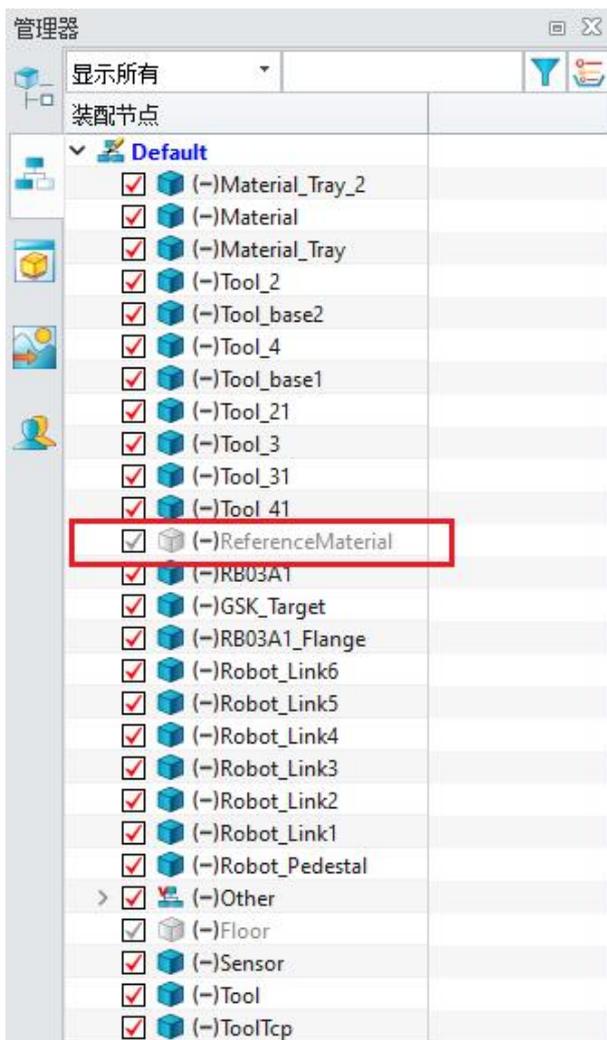


图 10-34: 隐藏

- 开始仿真:

- ◇ 单击“IROBOTCAM”选项卡中的“仿真”按钮。(图 10-35)

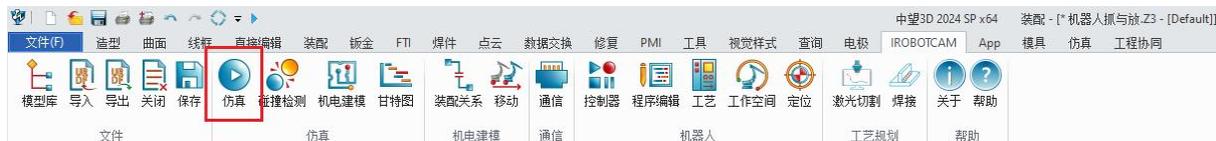


图 10-35: 仿真按钮

- 记录机器人运动:

- ◇ 可选地勾选“开始视频录制”复选框以在仿真期间捕获机器人的运动。

- 运行仿真并停止录制:

- ◇ 单击“仿真”中的“开始”按钮以运行编程的机器人动作。

- ◇ 观察整个过程并确认捕获成功(如果启用了视频录制)后,单击“停止”按钮。(图 10-36)



图 10-36：开始

- 验证成功的抓取和放置：

- ◇ 根据仿真结果确认机器人成功抓取和释放物体。（图 3-12）

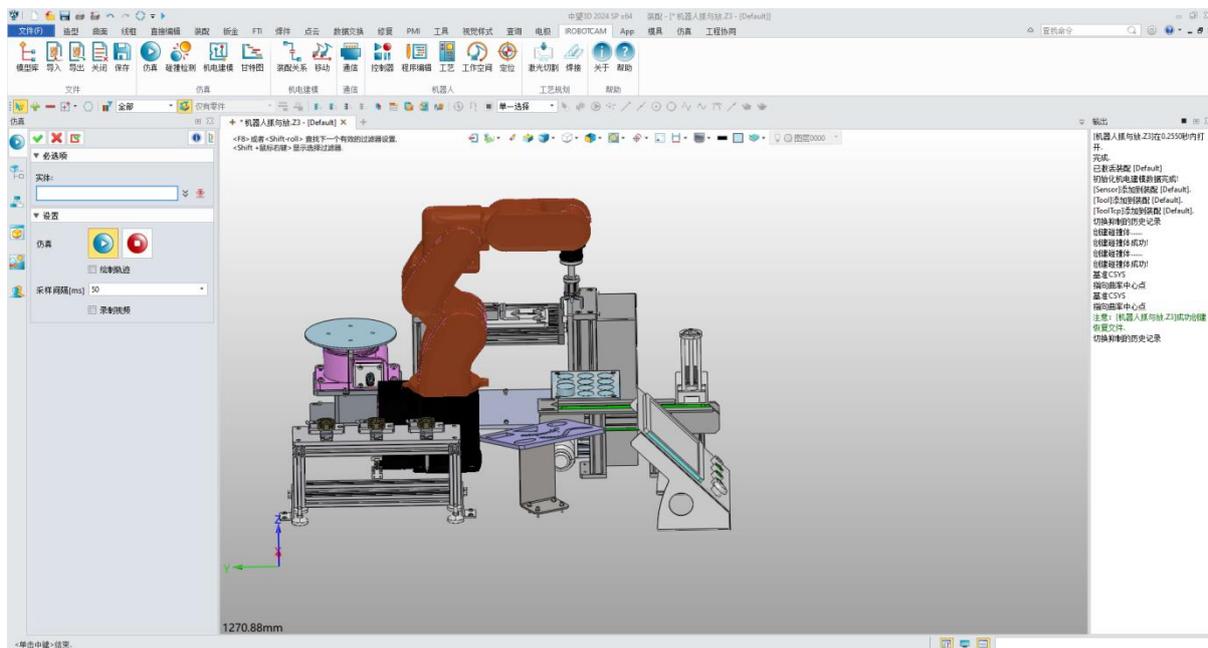


图 10-37：仿真验证

这个步骤确保机器人的运动和动作与编程的命令相匹配，并成功执行所需的拾取和放置操作。记录仿真可以让你分析过程并验证其准确性和效率。



以下是关于每种错误类型的一些额外注意点：

- **速度、加速度和加加速度参数：**

- 1、**症状：** 机器人移动速度可能过快或过慢，也可能出现急促的动作。
- 2、**原因：** 速度、加速度和加加速度的值可能超出了机器人能力的可接受范围。

- **解决方案：**

- 1、查看机器人的规格说明，了解这些参数的推荐值。
- 2、调整程序指令中的值，直到机器人平稳准确地移动。
- 3、在示教过程中使用“记录关节点”和“记录末端值”功能，以确保真实的速度和加速度。

- **同一点有两个不同的指令：**

- 1、**症状：** 机器人可能无法移动到所需位置，或者可能以意想不到的方式移动。
- 2、**原因：** 程序可能包含针对机器人路径中同一点的两个不同指令。

- **解决方案：**

- 1、仔细检查程序指令，以识别任何重复的命令。
- 2、删除重复的命令或为该点选择所需的命令。
- 3、使用“历史管理”栏查看和编辑示教点和指令。

- **以下是一些避免错误的额外技巧：**

- 1、**分阶段测试程序：** 从测试包含少量指令的程序开始，然后逐渐增加复杂性。这将帮助您更快地识别任何错误。
- 2、**使用仿真可视化：** 在仿真窗口中观察机器人的动作，以识别任何异常行为。
- 3、**参考 IROBOTCAM 文档：** 文档提供了有关软件功能和故障排除技巧的详细信息。

通过遵循这些技巧并仔细检查您的程序，您可以避免这些常见错误，并确保您的机器人抓和放仿真顺利准确地运行。

第十一章：碰撞检测

在 iRobotCAM 中进行碰撞检测仿真的逐步指南（图 11-1）

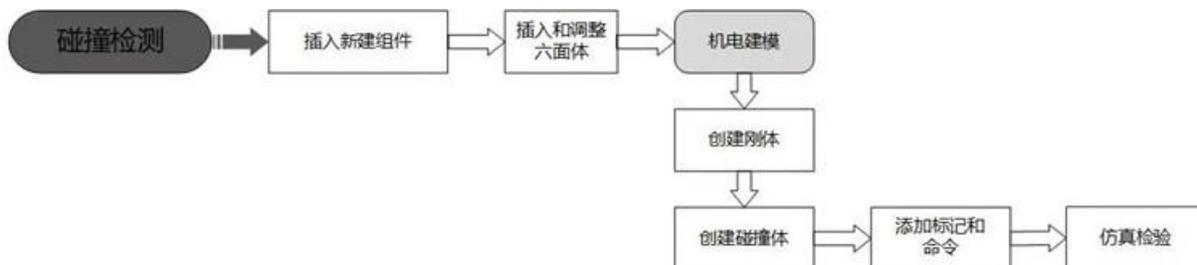


图 11-1: 碰撞检测流程图

步骤 1: 打开 iRobotCAM 项目文件

- 打开 iRobotCAM 项目文件“碰撞检测.Z3”进入 IROBOTCAM 环境。（图 11-2）



图 11-1: 打开 iRobotCAM 项目文件

- 进入后会显示组件详情。（图 11-4）

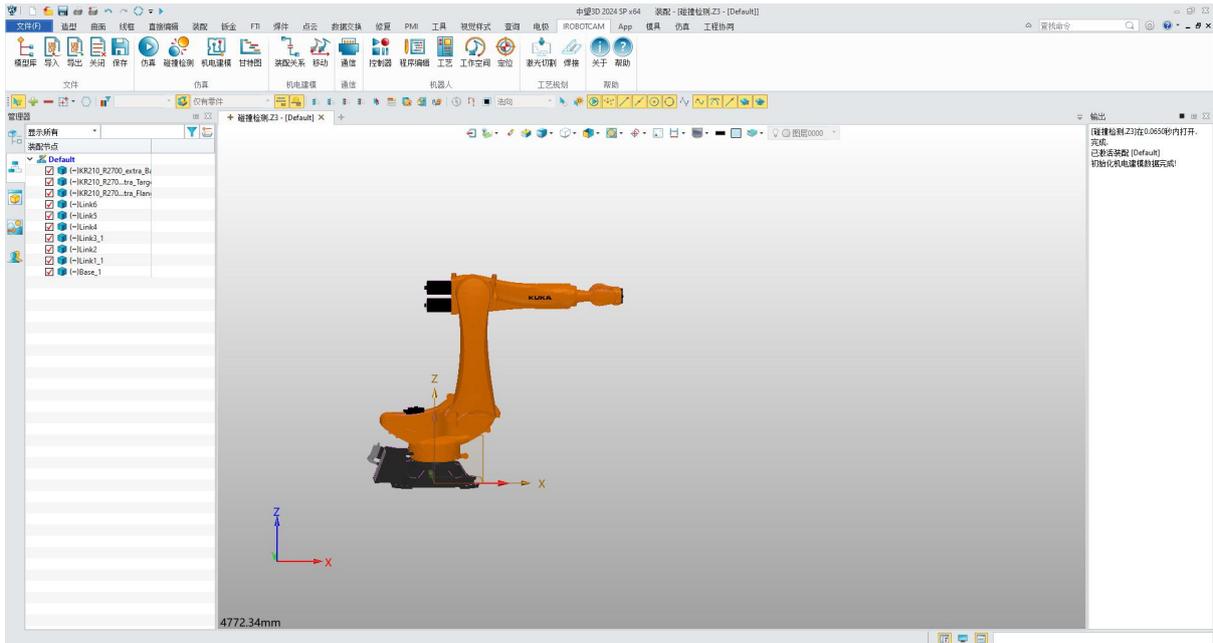


图 11-2: 组件详情

步骤 2: 插入新组件

- 右键单击“KR210_R2700_extra”插入新组件。
- 将零件命名为“COLLISION”。
- 取消选中“自动激活”复选框。
- 单击“创建”按钮完成新组件的创建。（图 11-6）
- 右键单击删除约束下的坐标。删除坐标也会删除约束。（图 11-7）
- 这将创建名为“COLLISION”的组件，用于碰撞检测。



图 11-3: 插入新组件

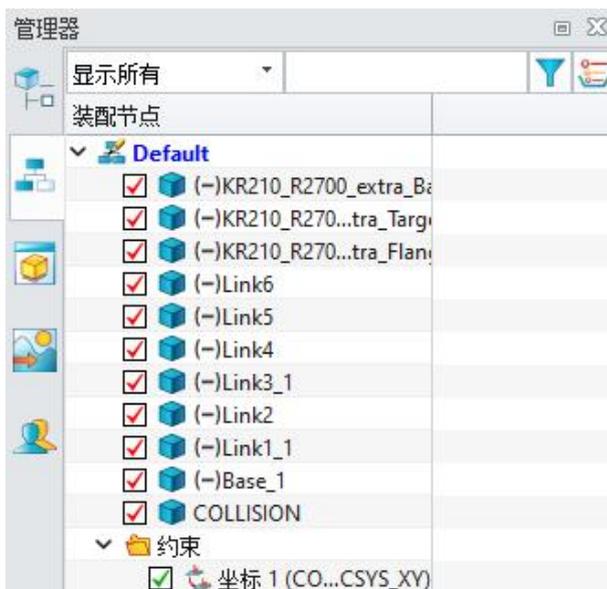


图 11-4：删除约束

步骤 3：插入和调整六面体

- 双击激活新建的组件，插入六面体：
- ◇ 在“造型”列中找到“六面体”选项并选择它。
- ◇ 在界面内创建所需的六面体形状，如提供的图示所示。
- ◇ 单击勾号按钮完成六面体的创建。(图 11-8)

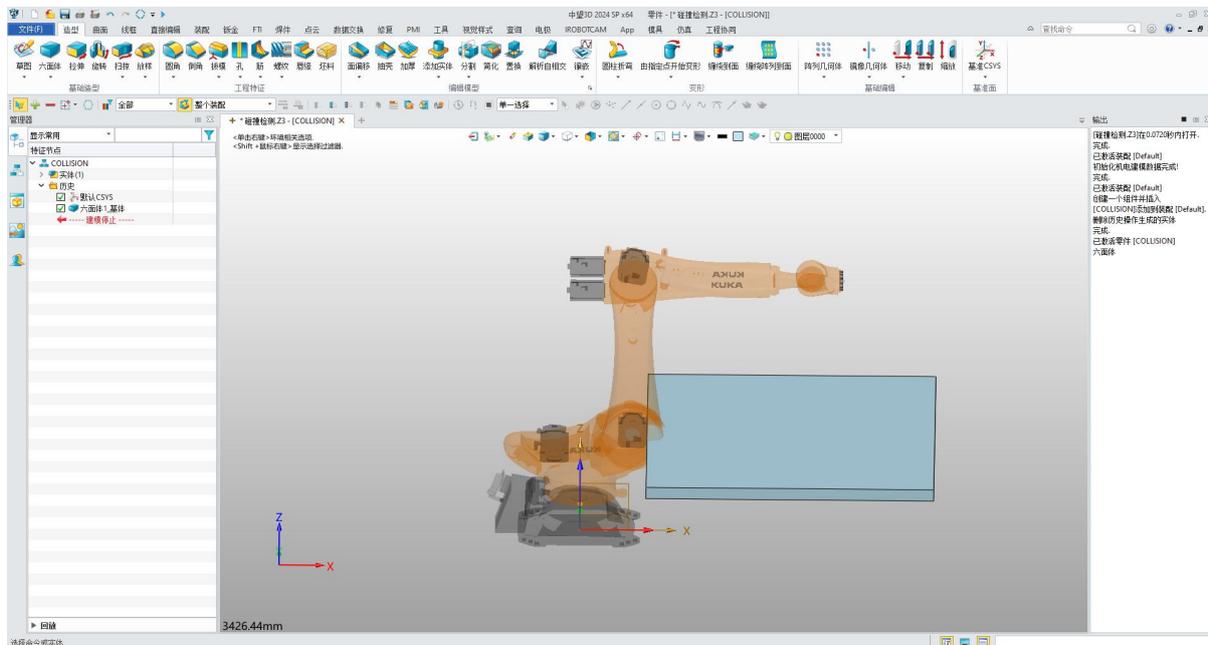


图 11-5：插入六面体

- 调整六面体位置:
- ◇ 双击“Default”装配以整体激活它。(图 11-9)

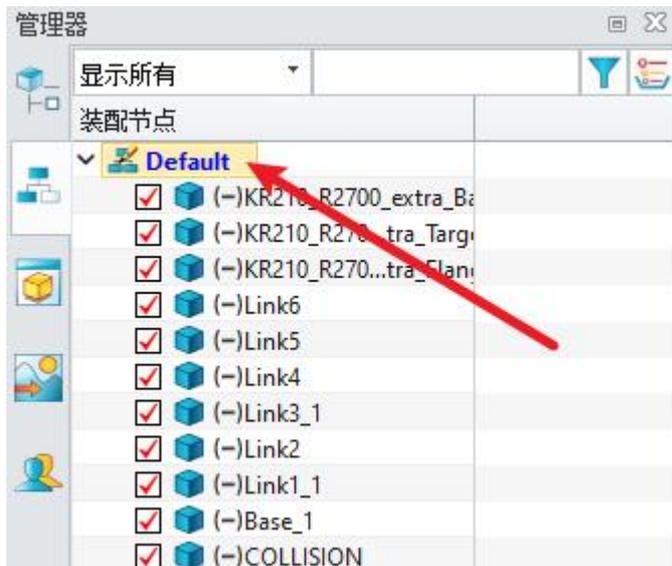


图 11-6: 激活装配体

- ◇ 在“装配”列中点击“移动”。
- ◇ 选择您创建的六面体。
- ◇ 调整 XYZ 轴以将六面体移动到装配内的所需位置。(图 11-10)

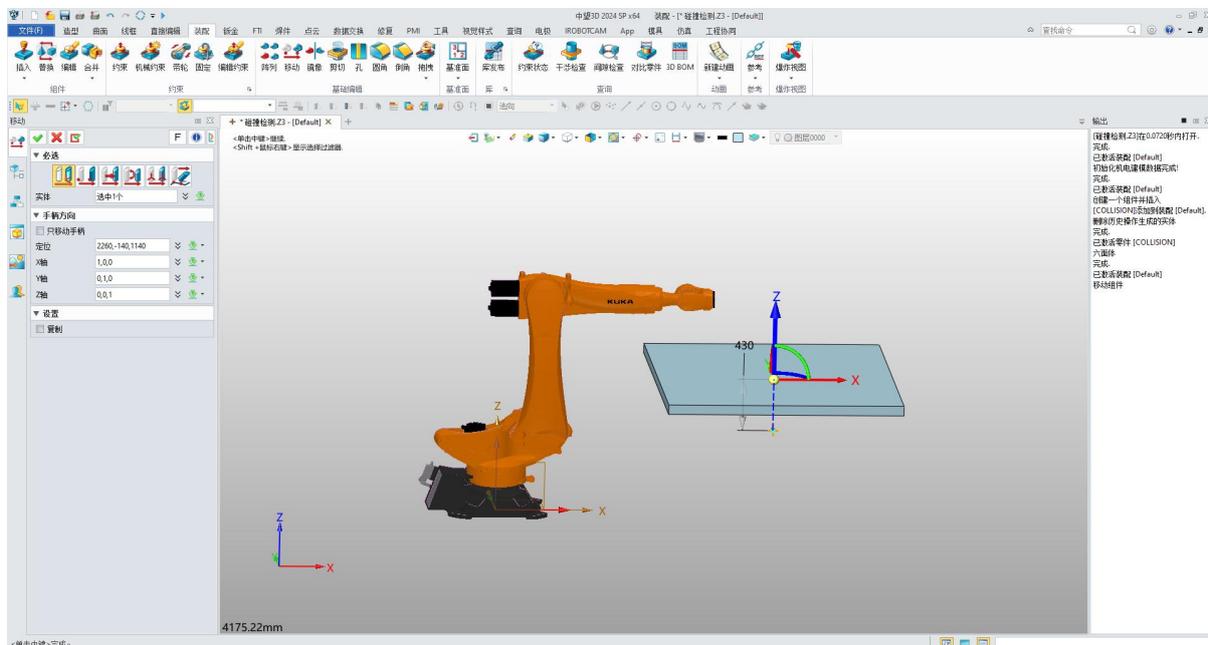


图 11-7: 调整六面体

步骤 4: 添加刚体和碰撞体

- 在“IROBOTCAM”列中，单击“机电建模”。
- 右键单击“基本机电对象”并选择“添加刚体”。
- 单击+按钮，从列表中选择您创建的六面体。
- 材料为“默认”。
- 在“属性设置”下，勾选“支持感应”。(图 11-11)
- 单击“确定”以最终创建刚体和碰撞体。

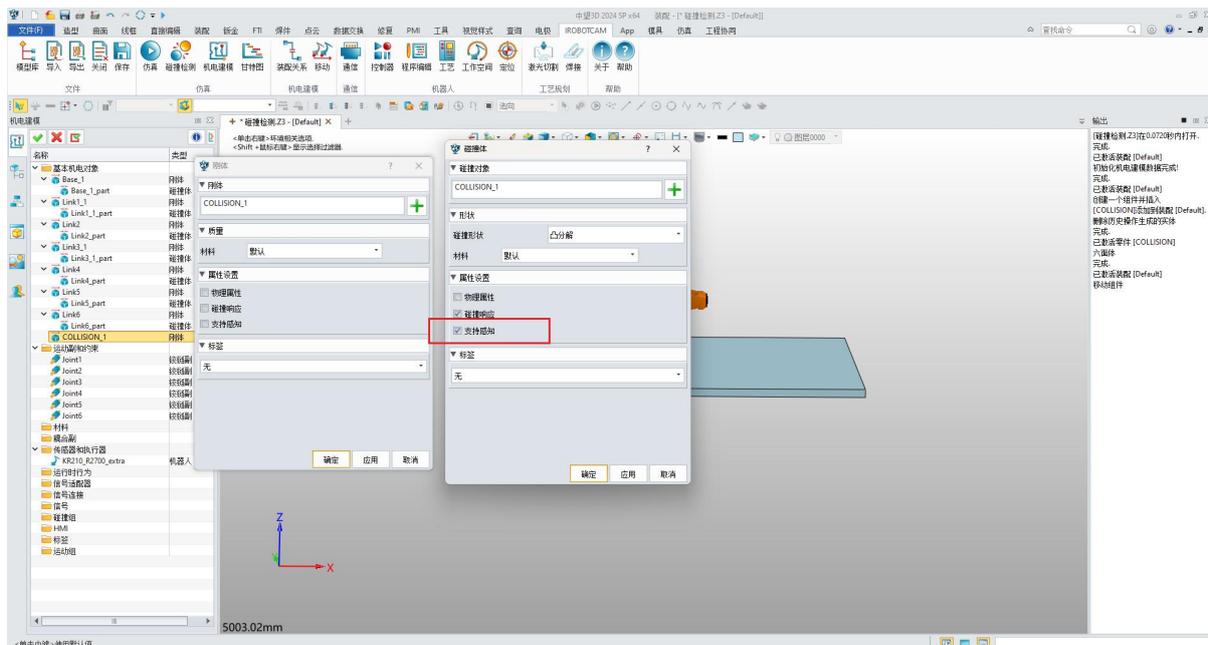


图 11-8：添加刚体

步骤 5: 添加碰撞组

- 右键单击“碰撞组”以添加一个新组。
- 选择代表机器人刚体的多个组件。
- 单击“添加”按钮将它们添加到右侧的框中。
- 或者，按住“Shift”键并单击，快速添加所有机器人刚体组件。
- 将新创建的碰撞组命名为“Robot”。(图 11-12)

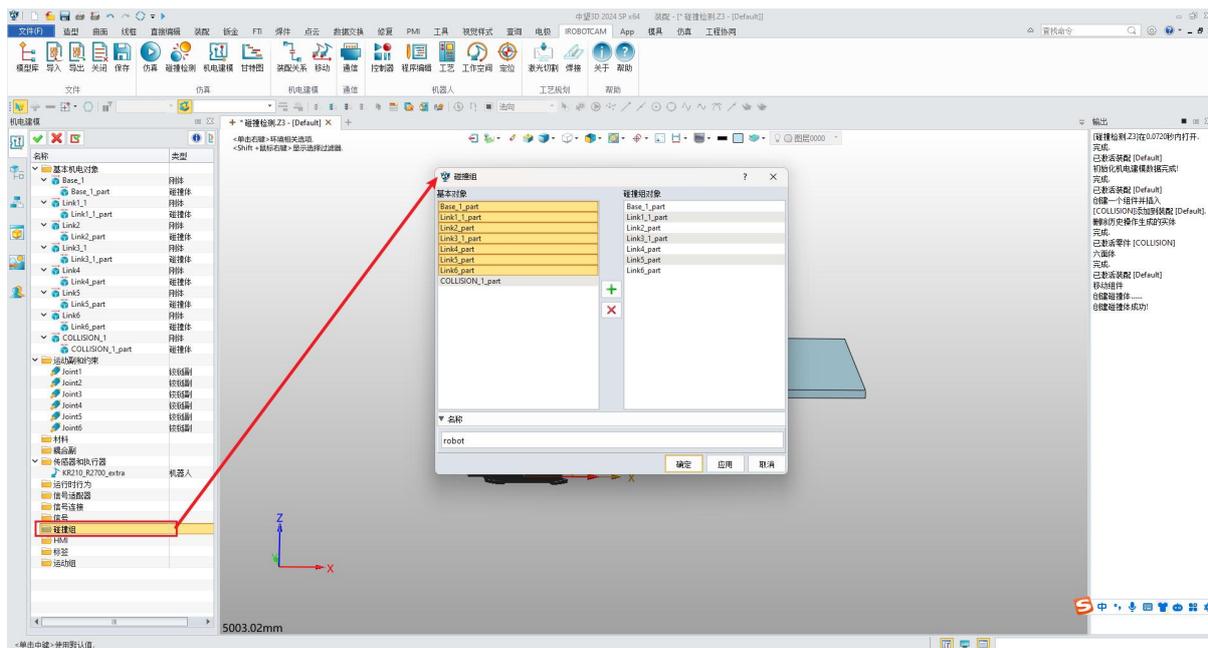


图 11-9: 机器人碰撞组

- 重复以上步骤，为六面体刚体创建一个新的碰撞组。
- 将此组命名为“object”。(图 11-13)

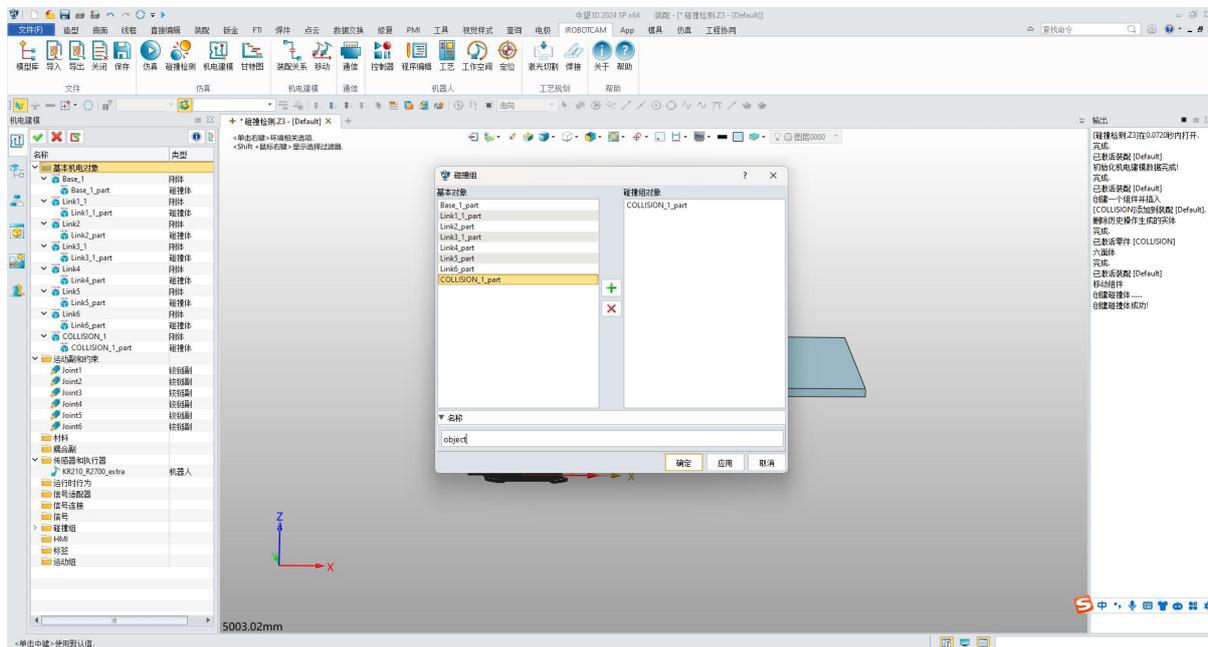


图 11-10: 物体碰撞组

步骤 6: 添加碰撞检测

- 在“IROBOTCAM”列中，点击“碰撞检测”按钮。(图 11-14)



图 11-11: 碰撞检测

- 在“目标物体”和“障碍物”输出框下，选择图中显示的内容。
- 这应该对应于先前创建的“object”和“robot”组。
- 点击“添加碰撞对象”创建两个碰撞对。
- 点击勾号完成创建。(图 11-15)



图 11-12: 碰撞检测

步骤 7: 添加标记点和命令

- 在“传感器与执行器”下，右键单击“机器人”，选择“示教机器人”。(图 11-16)



图 11-13: 示教机器人

- 点击“拖动示教”，然后在机器人的任何地方单击。
- 沿 X 轴向下拖动，直到达到六面体的底部。
- 单击“记录末端值”在此位置记录。(图 11-17)

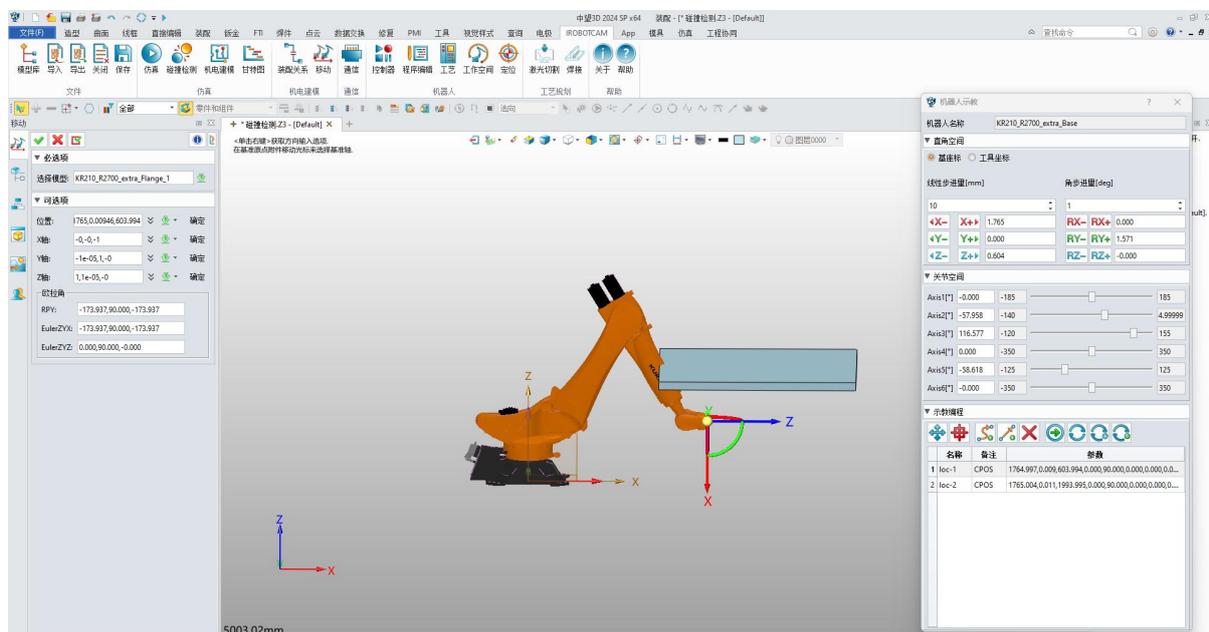


图 11-14: 第一个记录点

- 关闭拖动示教窗口，并在六面体上方添加一个记录点。(图 11-18)
- 这确保了在执行命令时机器人会与六面体发生碰撞。

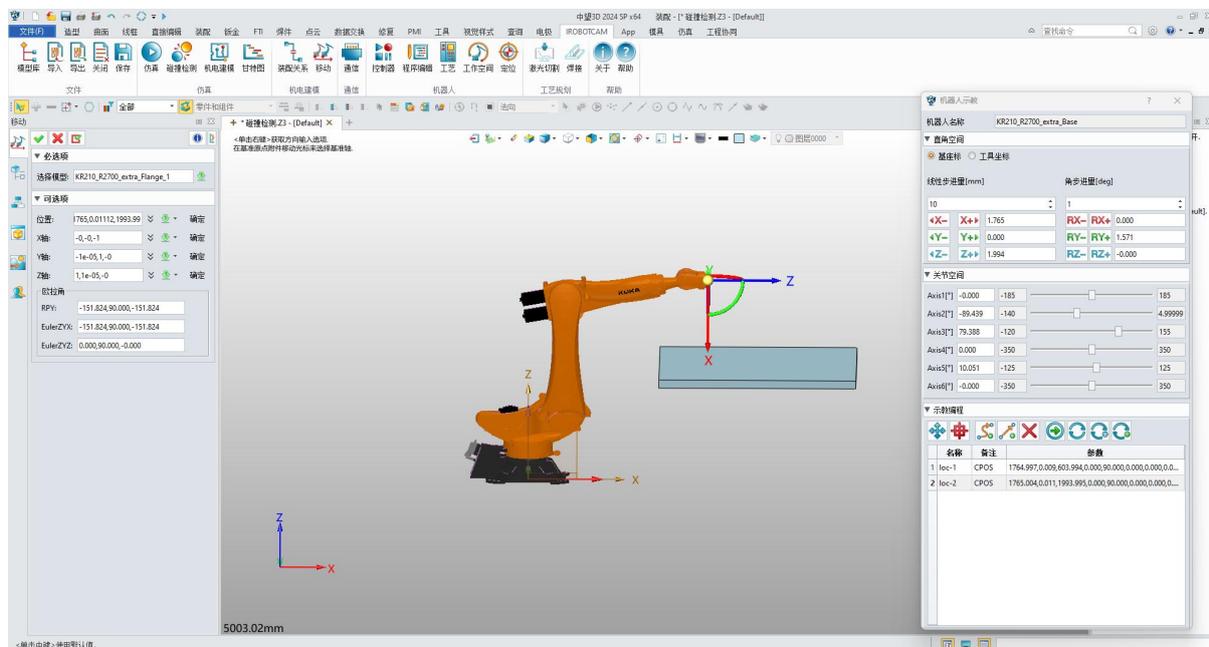


图 11-15: 第二个记录点

- 在“IROBOTCAM”列中，点击“程序编辑”。(图 11-19)



图 11-16: 程序编辑按钮

- 右键单击“Controller”，选择“Add JOB”。
- 右键单击“JOB1”，选择“添加程序”。
- 右键单击“program1”，选择“编辑程序”。
- 使用“MOVL”命令，并将“loc-1”和“loc-2”指定为运动目标。(图 11-20)

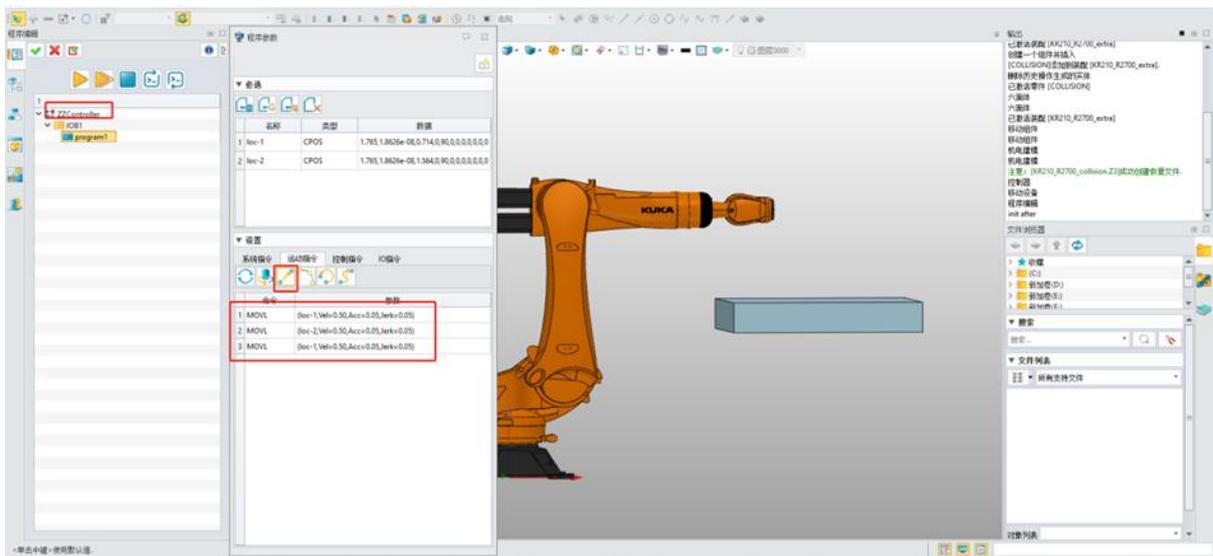


图 11-17: 添加命令

步骤 8: 仿真验证

- 在“IROBOTCAM”列中，点击“程序编辑”。(图 11-21)



图 11-18: 程序编辑

- 在“程序编辑”窗口中，点击“运行”按钮。(图 11-22)

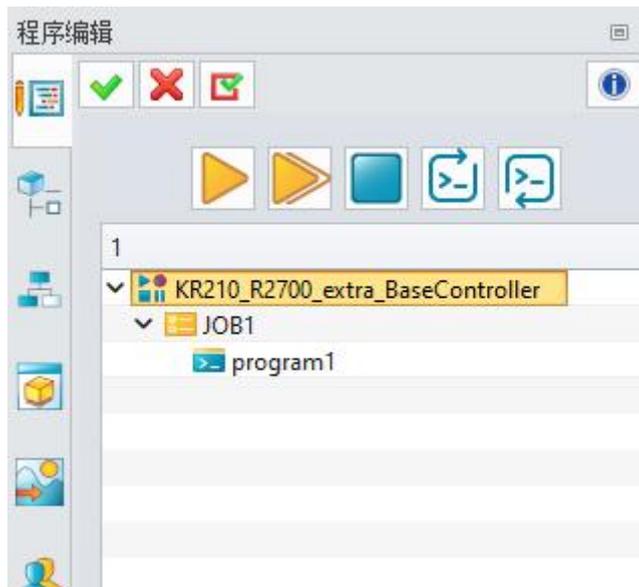


图 11-19: 运行按钮

- 如果程序不立即开始运行，请尝试点击一次“运行”，等待几秒钟，然后点击“停止”。
- 刷新界面，然后再次点击“运行”。有时这会触发程序开始运行。
- 一旦程序运行，您应该看到突出显示的状态指示器，确认成功的碰撞检测。(图 11-23)

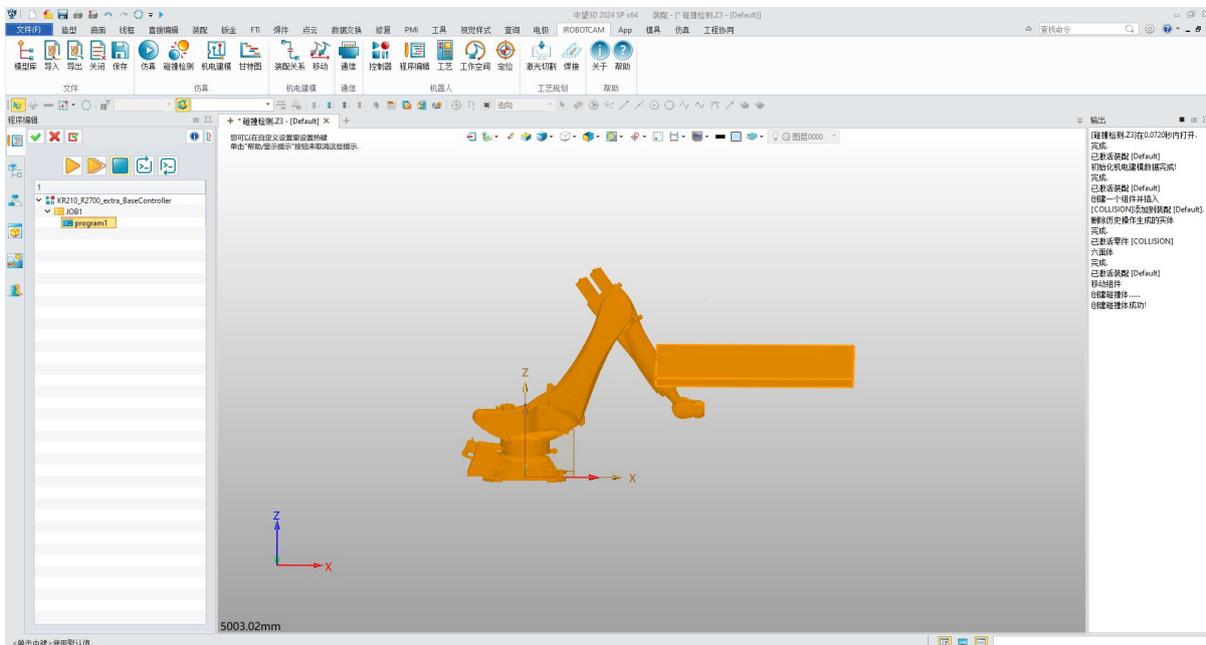


图 11-20: 仿真验证

第十二章：配置 ModbusTcp 通信

配置通信：连接 iRobotCAM 模型到外部控制器。(图 12-1)

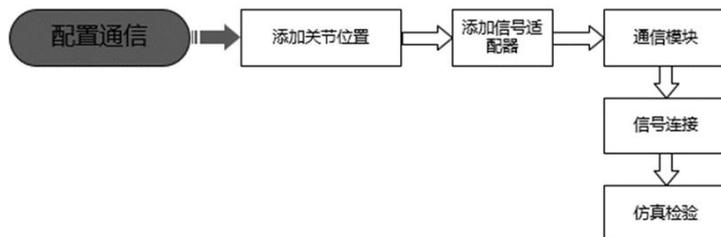


图 12-1：配置通信流程图

步骤 1: 打开 iRobotCAM 项目文件

- 打开 iRobotCAM 项目文件 "配置通信.Z3" 进入 iRobotCAM 环境。(图 12-2)



图 12-2：打开 iRobotCAM 项目文件

- 等待模型导入。完成后，在右侧输出框下方的红色框中会出现一条消息。(图 12-3)

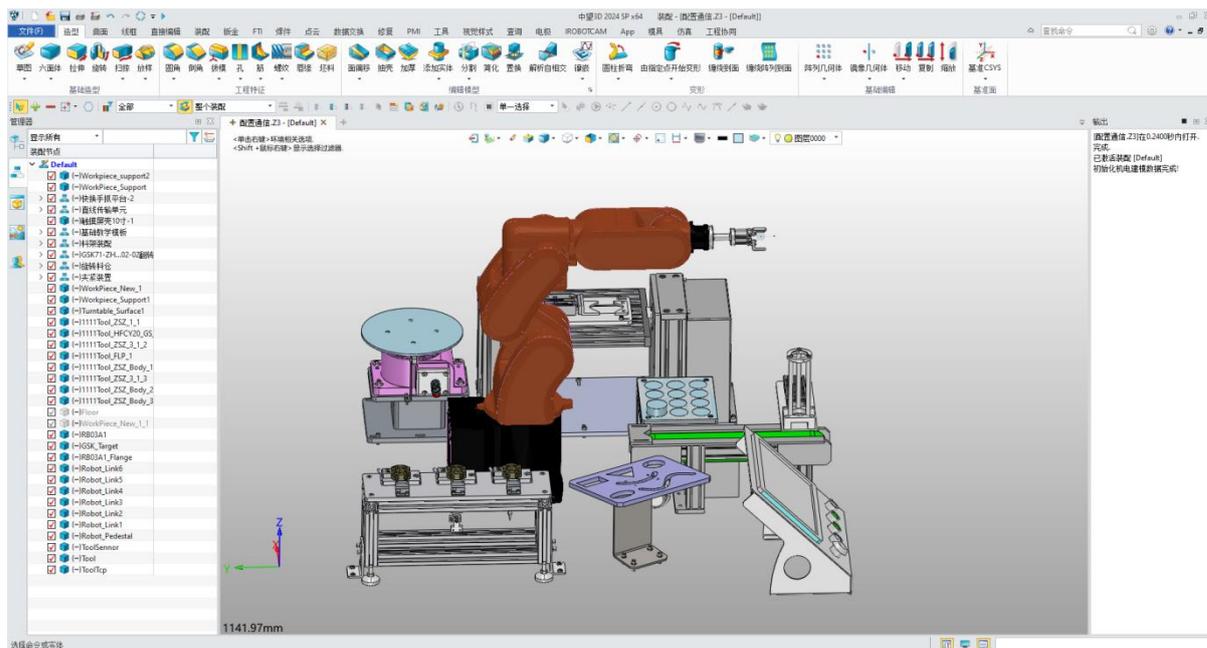


图 12-3: 组件详细信息

步骤 2: 添加关节位置

- 在 "IROBOTCAM" 列中, 点击 "机电建模" 按钮, 然后点击 "运行时行为".
- 右键单击 "GSKRobot_EXEC" 并删除仿真序列。(图 12-4)

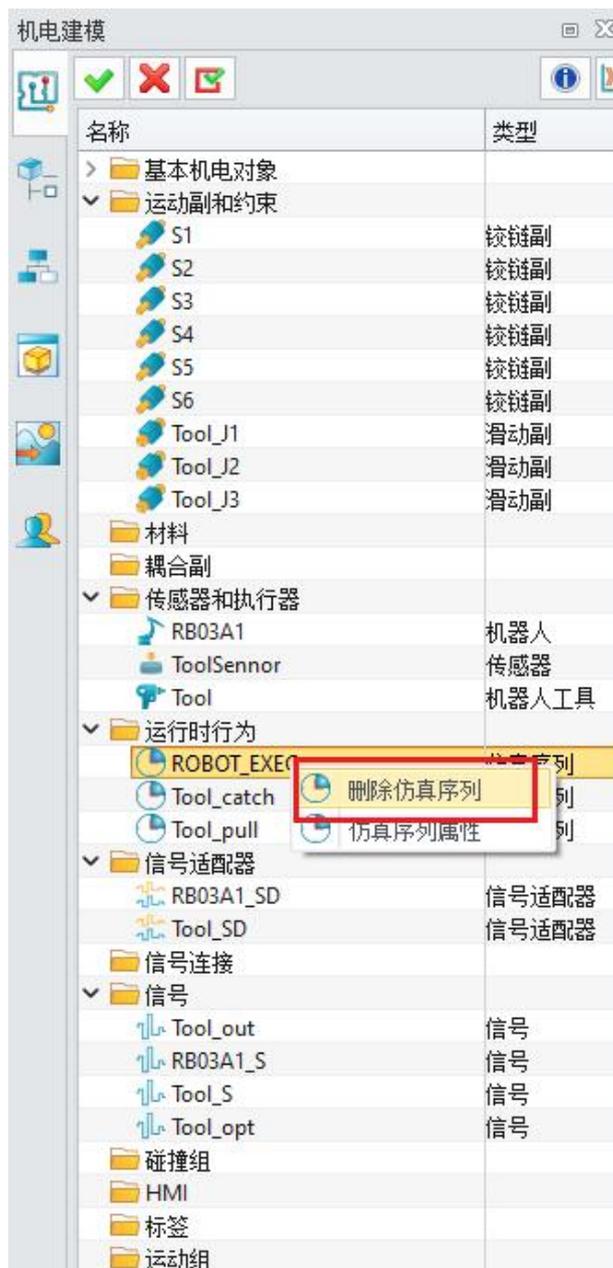


图 12-4: 删除仿真序列

- 点击 "传感器和执行器" 并右键添加关节位置。(图 12-5)

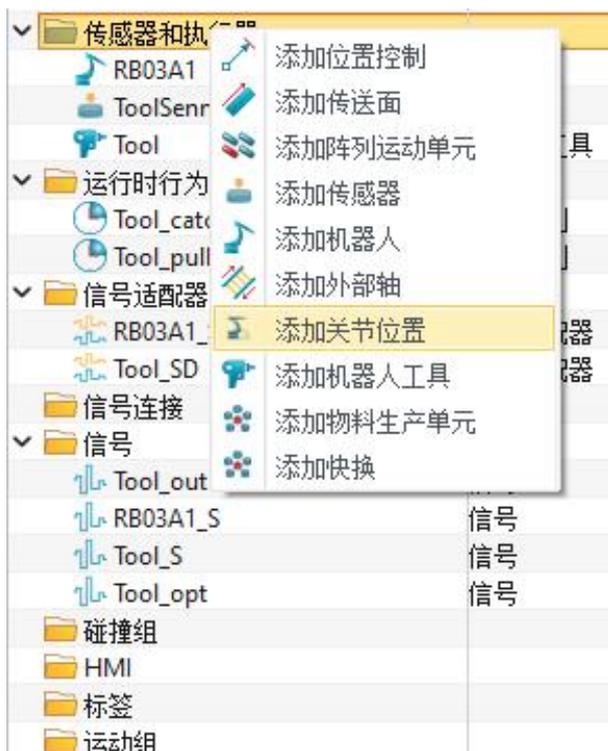


图 12-5: 添加关节位置

- 对于每个关节 "S1" 到 "S6", 按照以下步骤进行:
 - ◇ 点击 "+" 按钮。
 - ◇ 选择关节 (例如, "S1")。
 - ◇ 将其命名为 "S1Pos" (用适当的关节编号替换 "1")。
 - ◇ 将运动类型设置为 "指定位置"。
 - ◇ 点击确定。(图 12-6)

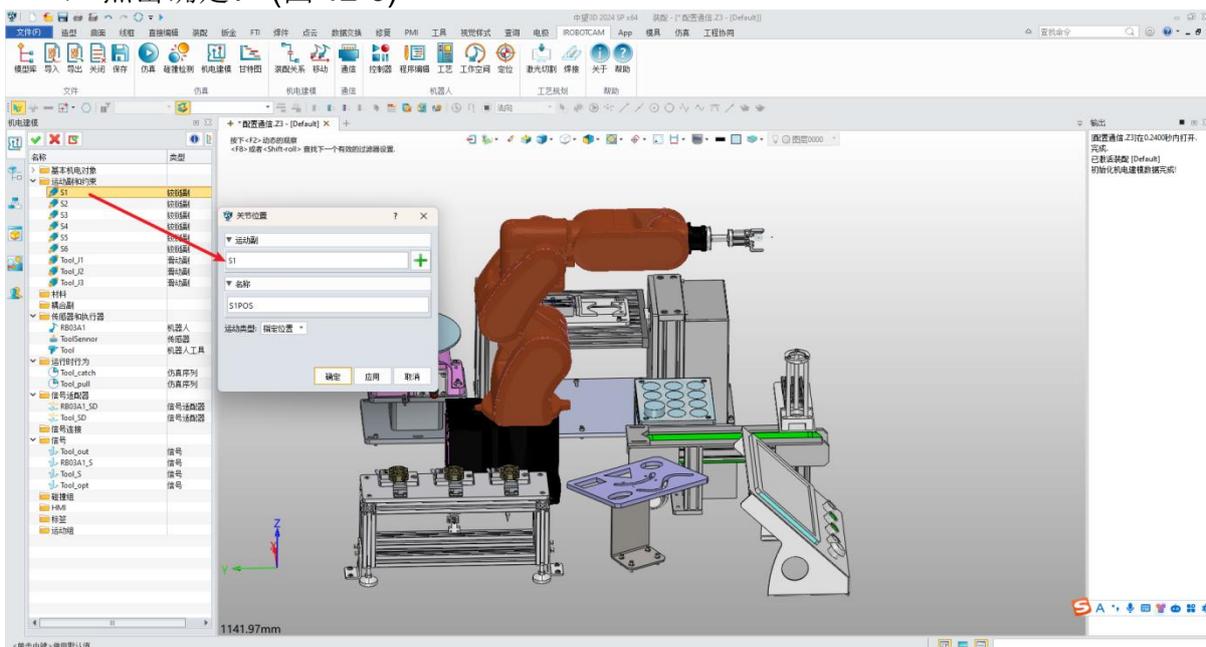


图 12-6: 关节位置参数

- 完成所有关节的步骤，界面应如下所示。(图 12-7)

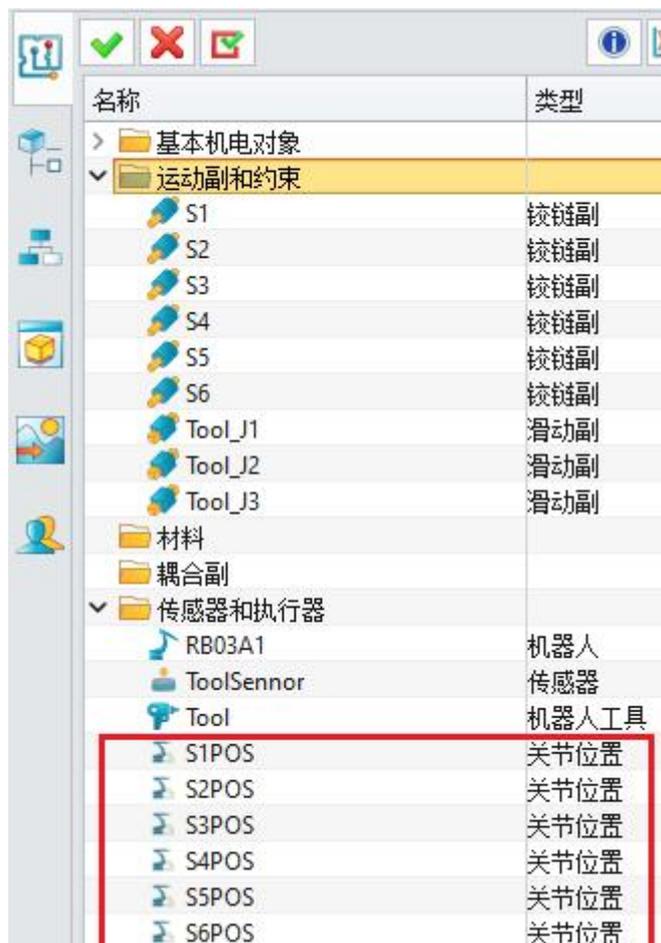


图 12-7：关节位置完成

步骤 3: 添加信号适配器

- 点击 "信号适配器"。
- 右键单击并选择 "添加信号适配器"。
- 按照以下步骤为每个关节进行操作：(图 12-8)
 - ◇ 点击 "+" 按钮。
 - ◇ 选择关节位置（例如："S1Pos"）。
 - ◇ 双击第二个框并输入名称 "S1Pos_S"（将 "1" 替换为相应的关节编号）。
 - ◇ 在第三个框中选择 "Float" 作为数据类型。
 - ◇ 在第二列右侧的 "+" 按钮上点击。
 - ◇ 填写 "S1Pos_S, S1Pos_S * 0.017444"（值来源 3.14/180）。
 - ◇ 将适配器命名为 "S1Pos_SD"（将 "1" 替换为相应的关节编号）

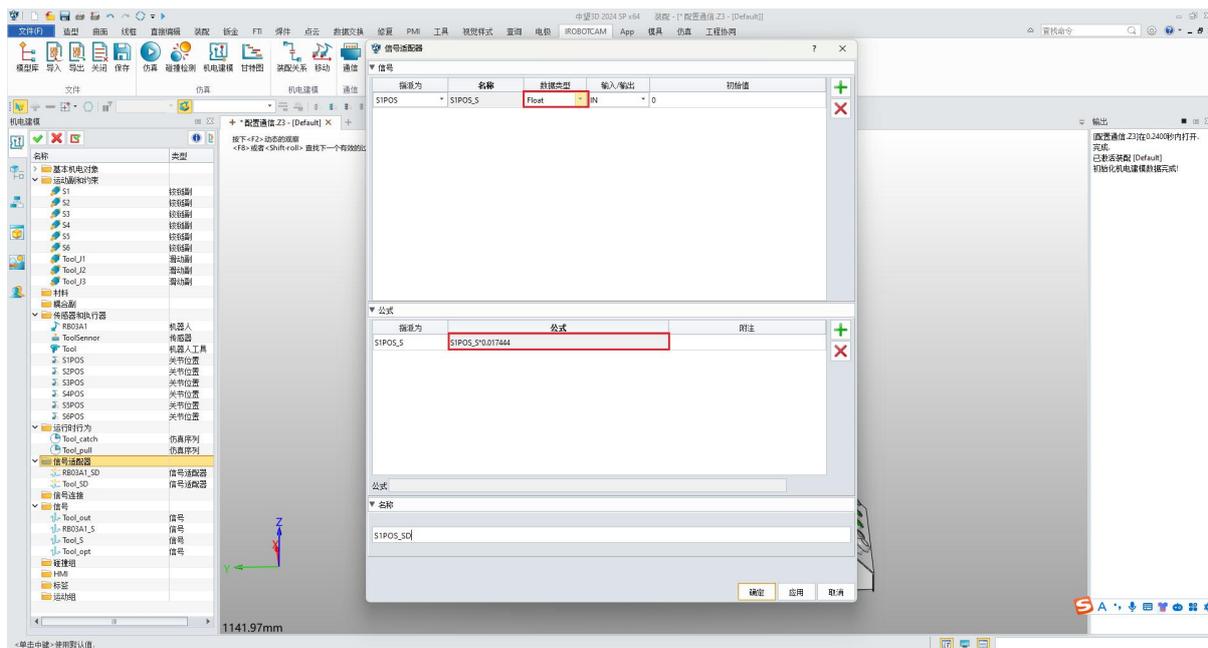


图 12-8: 信号适配器 S1Pos_SD

- 最终结果应类似于图 12-9。

传感器和执行器	
RB03A1	机器人
ToolSennor	传感器
Tool	机器人工具
S1POS	关节位置
S2POS	关节位置
S3POS	关节位置
S4POS	关节位置
S5POS	关节位置
S6POS	关节位置
运行时行为	
Tool_catch	仿真序列
Tool_pull	仿真序列
信号适配器	
RB03A1_SD	信号适配器
Tool_SD	信号适配器
S1POS_SD	信号适配器
S2POS_SD	信号适配器
S3POS_SD	信号适配器
S4POS_SD	信号适配器
S5POS_SD	信号适配器
S6POS_SD	信号适配器

图 12-9: 信号适配器完成

步骤 4: 添加通信模块

- 在 iRobotCAM 列中点击 "通信" 按钮。(图 12-10)



图 12-10: 通信

- 在 "Modbus Tcp" 下，右键单击 "设备" 下的空白框，选择 "添加设备"。(图 12-11)

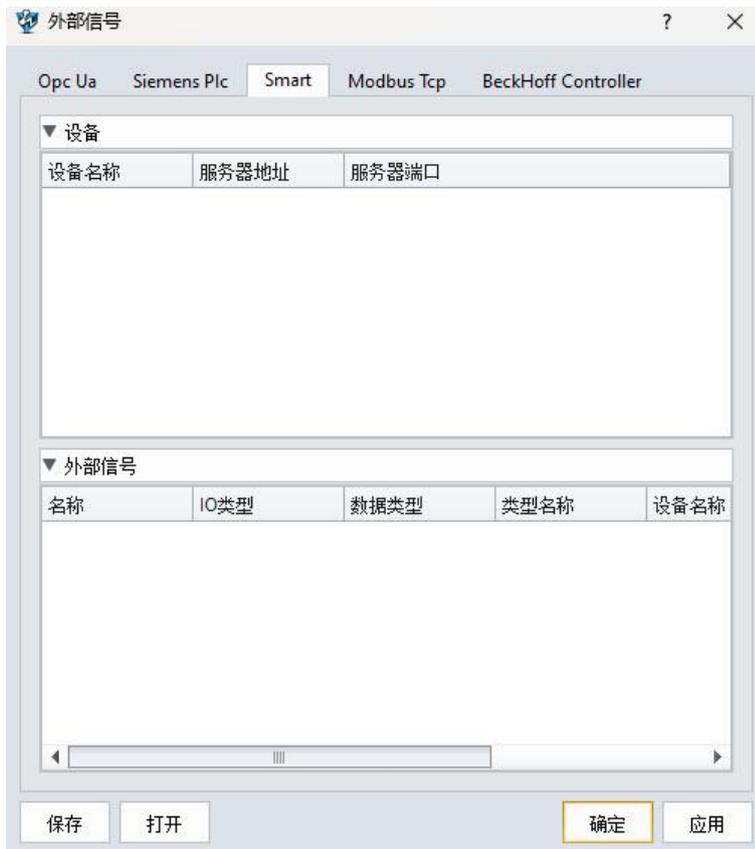


图 12-11: 外部信号

- 在弹出窗口中：(图 12-12)
 - ◇ 将设备命名为 "ModbusTcp1"。
 - ◇ 将服务器地址设置为 "192.168.1.10"。
 - ◇ 将服务器端口设置为 "502"。
 - ◇ 将模式设置为 "1"。
 - ◇ 点击确定。

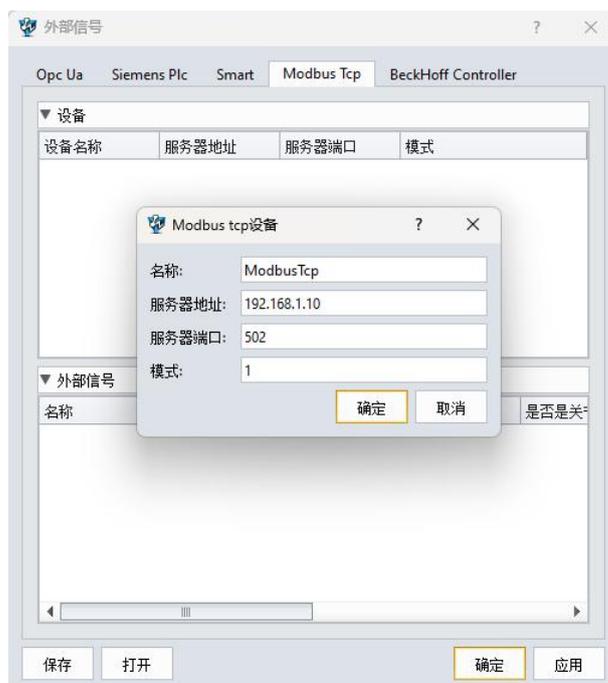


图 12-12: 外部信号设备参数

- 在 "Modbus Tcp" 下，右键单击 "外部信号" 下的空白框，选择 "添加信号"。
(图 12-13)



图 12-13: 添加信号

- 在弹出窗口中：(图 12-14)
- ◇ 信号命名
- ◇ 信号类型
- ◇ IO 类型
- ◇ 选择关节
- ◇ 填写偏移地址
- ◇ 其余参数根据需连接设备进行填写。



图 12-14: 添加关节信号

- 对于其余的关节，重复步骤 5。
- 下图设置参数为举例设置。(图 12-15)



图 12-15: 关节信号完成

- 添加抓和放的通信: (图 12-16)
 - ◇ 将信号命名为 "Grab".
 - ◇ 信号类型为 Bool 类型.
 - ◇ IO 类型为 OUT.
 - ◇ 关节为否.
 - ◇ 将偏移地址位设置为 "65560".
 - ◇ 其余参数需根据实际设备填写.

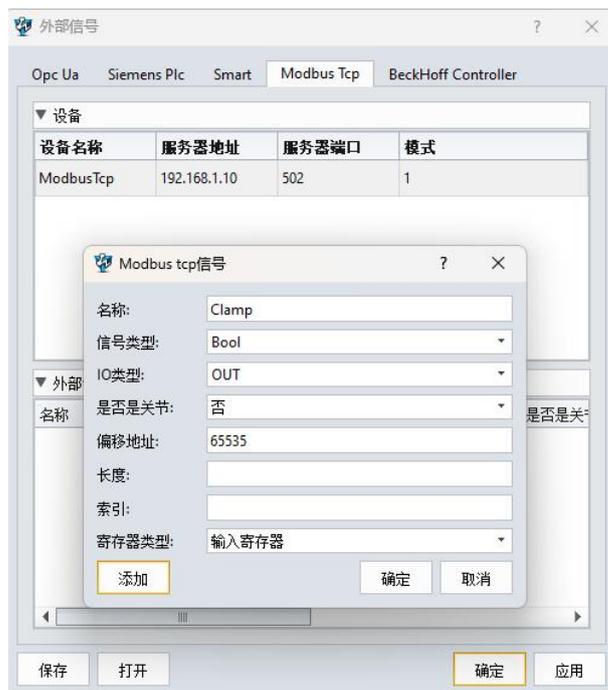


图 12-16: 抓和放外部信号

- 点击 "保存" 按钮，将外部信号连接信息保存到计算机以供将来使用。(图 12-17)

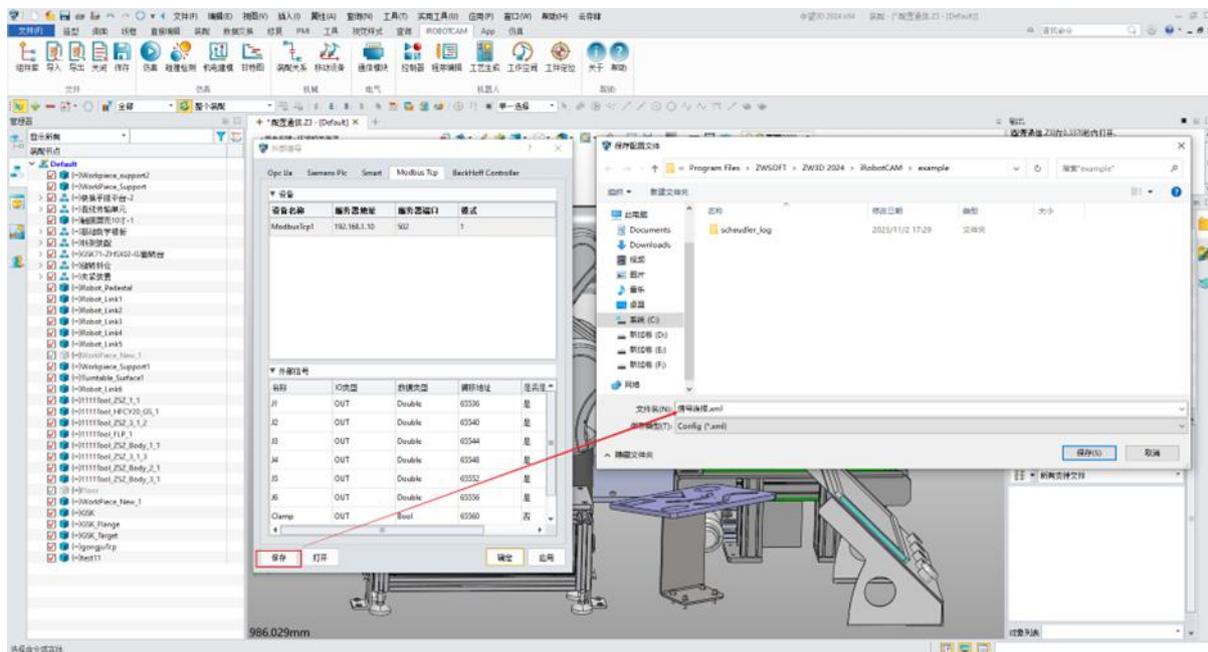


图 12-17: 保存信号

步骤 5: 添加信号连接

- 在 "机电建模" 下找到 "信号连接"。(图 12-18)



图 12-18: 添加信号连接

- 右键单击并选择 "添加信号连接"。
- 在弹出框中, 命名为 "SignalConnect1" 并点击 "确定"。(图 12-19)



图 12-19: 信号连接名称

- 在 "信号连接" 框内:
 - ◇ 点击左列中的内部信号 "S1Pos_S"。(图 12-20, 点 ①)
 - ◇ 点击右列中的外部信号 "J1"。(图 12-20, 点 ②)
 - ◇ 点击 "连接" 按钮。

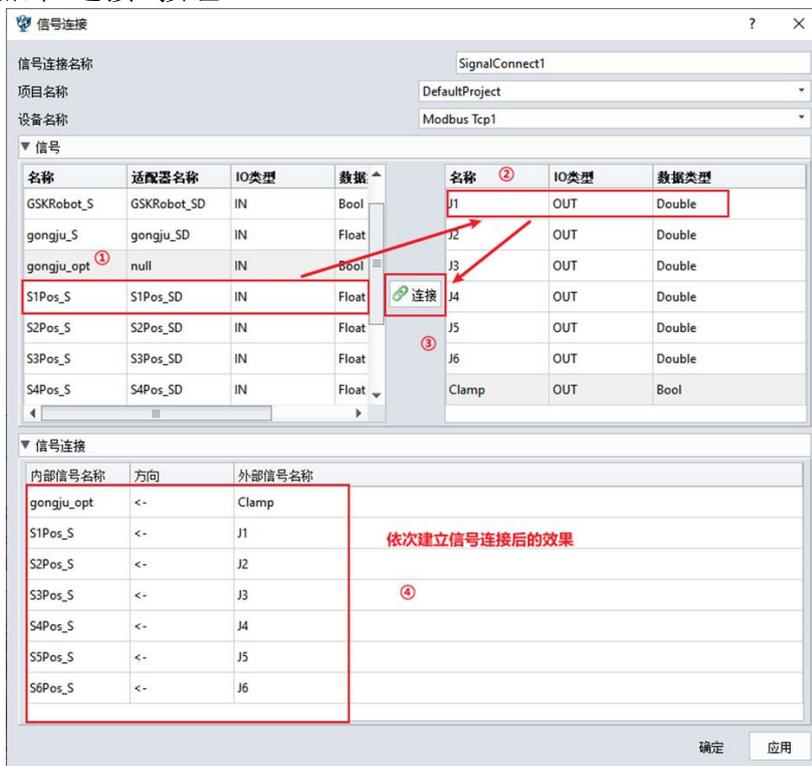


图 12-20: 连接方法

- 为所有其余的内部和外部信号对重复这些步骤, 根据图 12-20 中显示的顺

序连接它们 (① -> ② -> ③)。

- 这一步允许机器人通过外部信号控制其内部信号，从而模拟抓取和释放。

步骤 6: 仿真验证

- 在 "IROBOTCAM" 列中，点击 "仿真" 按钮。(图 12-21)



图 12-21: 仿真验证

- 在 "仿真" 窗口中，点击最左侧的 "开始仿真" 按钮。(图 12-22，点 ①)
- 您将看到添加的设备服务器，由 ② 标识，以及其 ③ 外部信号。(图 12-22)

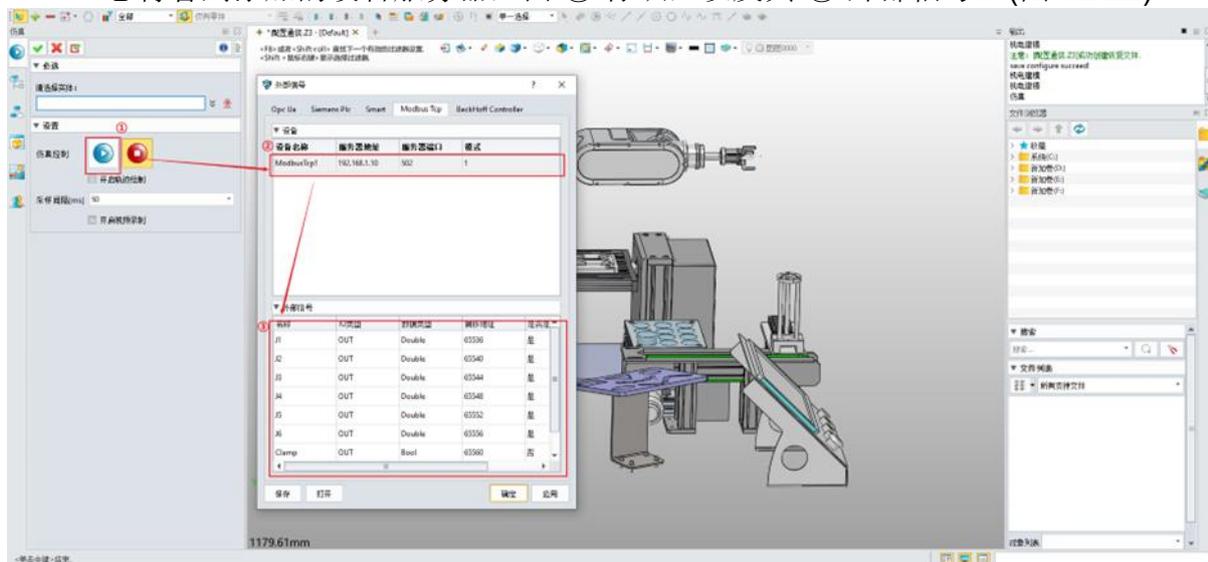


图 12-22: 仿真验证

- 通过 ③ 添加的外部信号依次控制 ④ 的内部信号。
- 最后，内部信号控制 ⑤ 的关节位置和编程仿真序列，成功建立外部通信功能。(图 12-23)

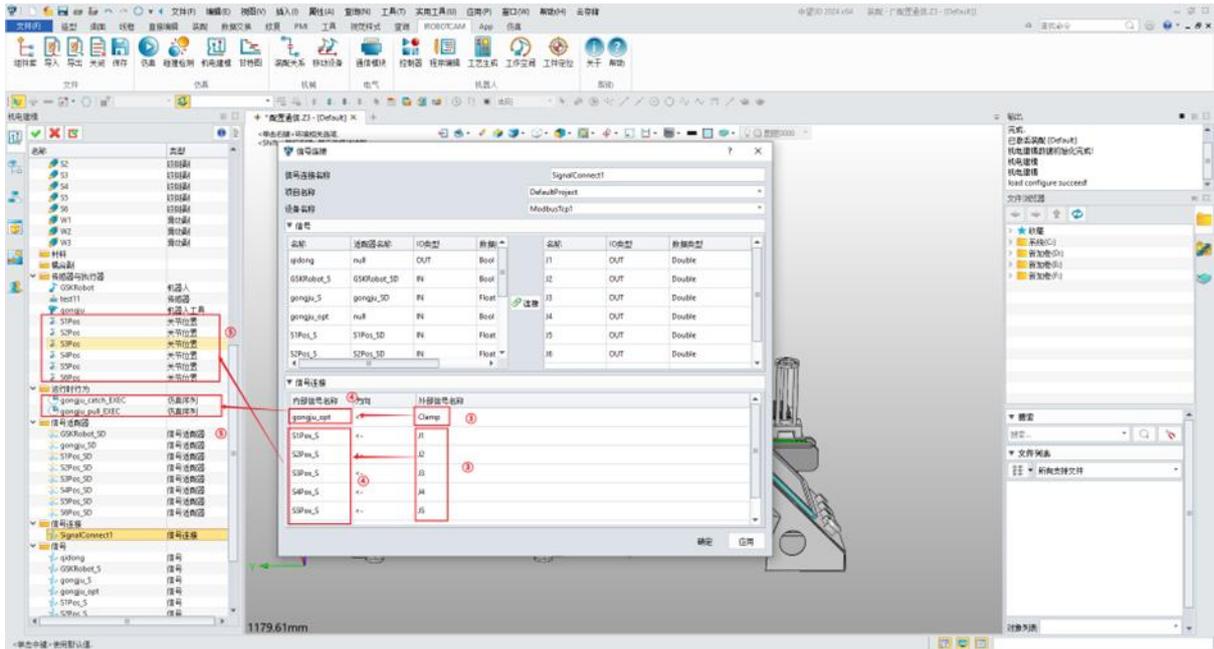


图 12-23: 仿真实验

- 这些步骤指导您连接 iRobotCAM 模型到外部控制器。通过遵循这些说明，您可以启用外部通信并通过外部信号控制机器人的运动。

第十三章：转盘模型构建

本文提供了在 IROBOTCAM 中构建功能性转盘模型的综合指南，涵盖了各种元素和功能。(图 13-1)

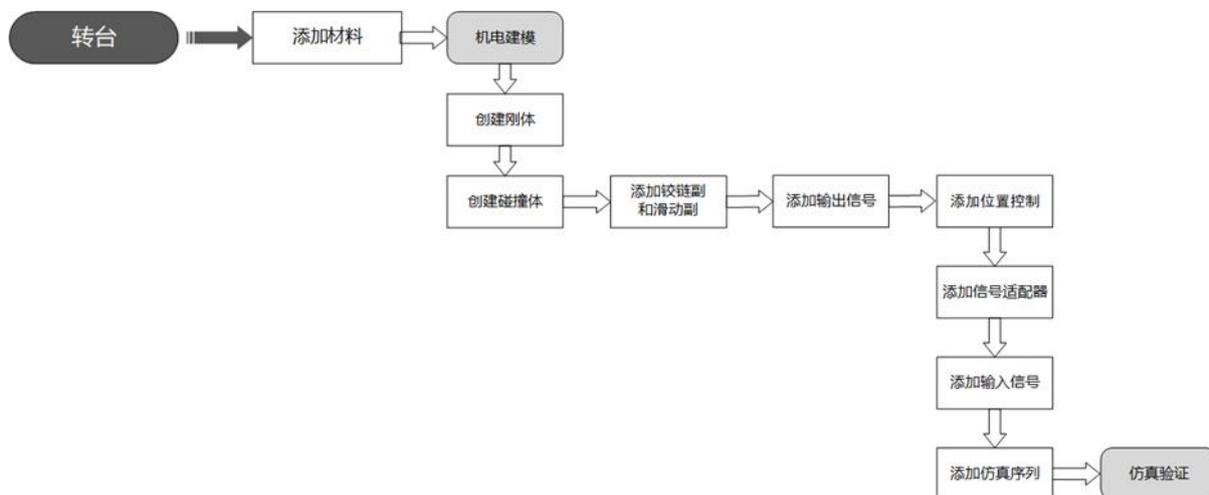


图 13-1：转盘构建流程图

前提：

- 熟悉 IROBOTCAM 界面和基本功能。
- 了解机电建模的概念，如刚体、碰撞、关节、信号和仿真序列

流程：

步骤 1: 模型导入和初始化

- 在 IROBOTCAM 中打开 iRobotCAM 项目文件"转台.Z3"。(图 13-2)
- 等待模型导入完成。(图 13-3)
- 进入组件详细信息界面。(图 13-4)



图 13-2: 打开 iRobotCAM 项目文件

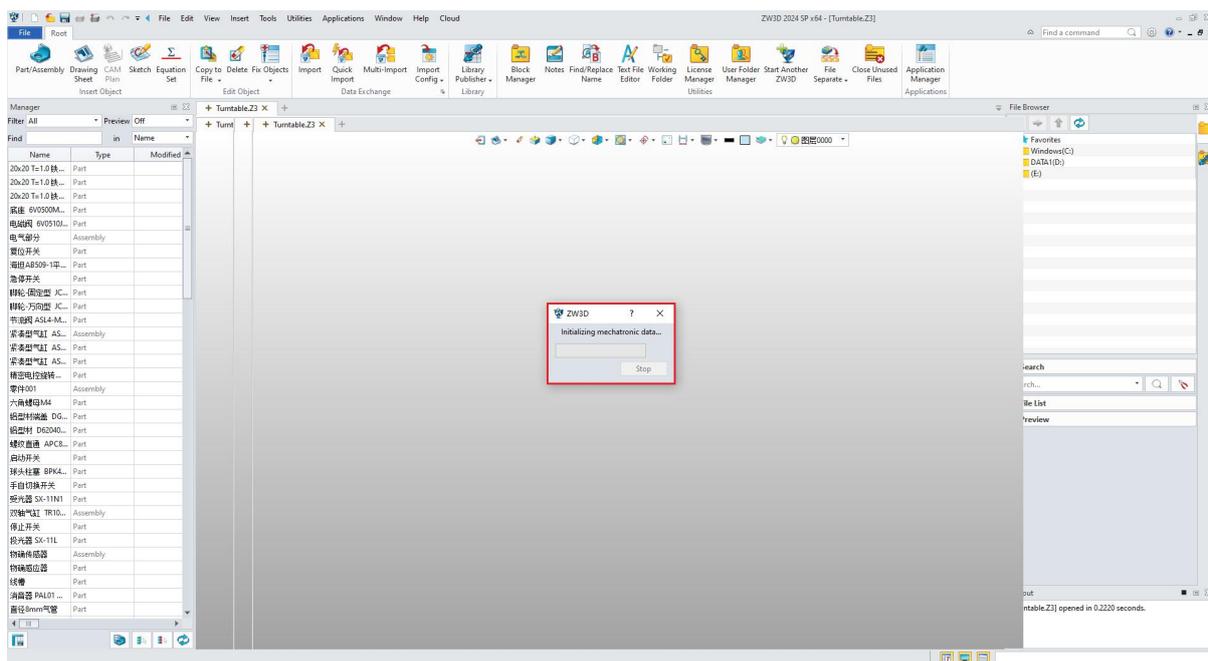


图 13-3: 等待

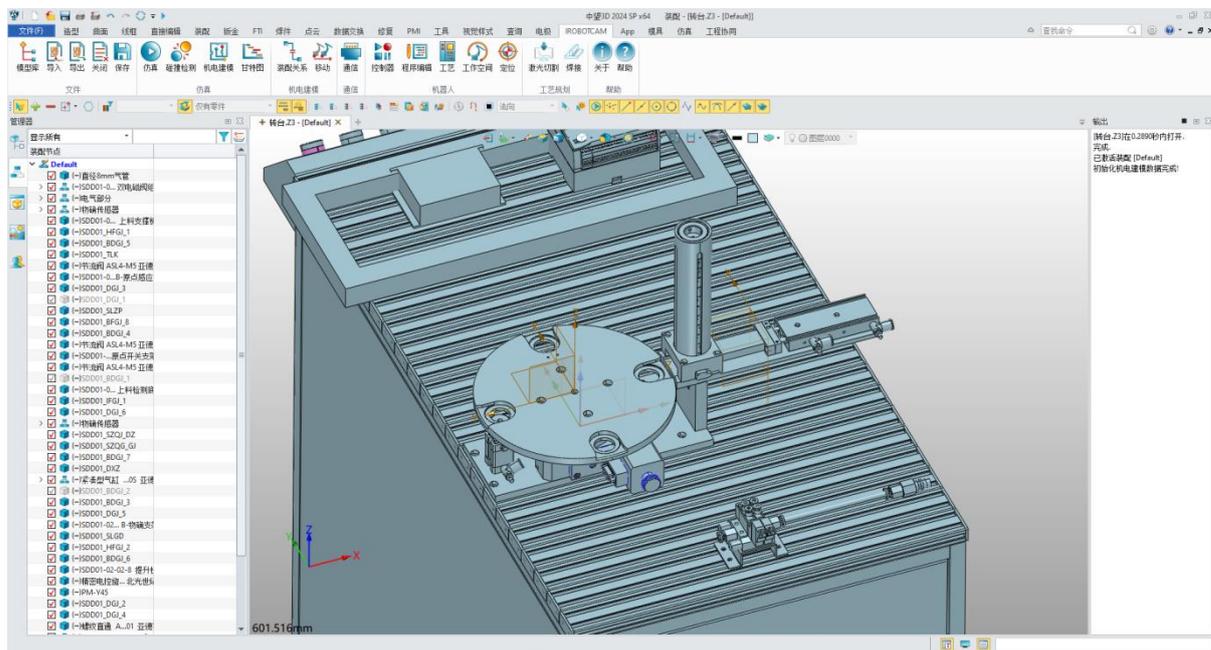


图 13-4: 组件详细信息

步骤 2: 定义材料

- 在"IROBOTCAM"选项卡中, 点击"机电建模"按钮。(图 13-5)

- 打开"材料"窗口。(图 13-6)
- 定义两种材料："M1"和"M2"。(图 13-7)
- 为每种材料分配摩擦系数、恢复系数等值。(图 13-7)



图 13-5: 机电建模按钮

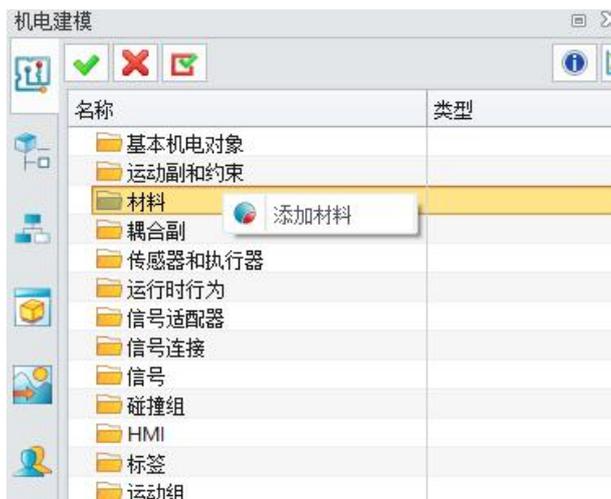


图 13-6: 添加材料





图 13-7: “M1”和“M2”

步骤 3: 创建刚体

- 点击"机电建模"按钮。(图 13-8)
- 使用"+"按钮创建八个刚体，分别对应主转盘的组成部分。(图 13-9)
- 指定它们的质量、材料分配和属性设置。(图 13-10)
- 创建两个额外的刚体（"SDD01DGJ_2_1"和"SDD01DGJ3_1"）。(图 13-11)
- 为额外的刚体分配"M2"，启用"物理属性"和"碰撞响应"。(图 13-12)



图 13-8: 机电建模按钮

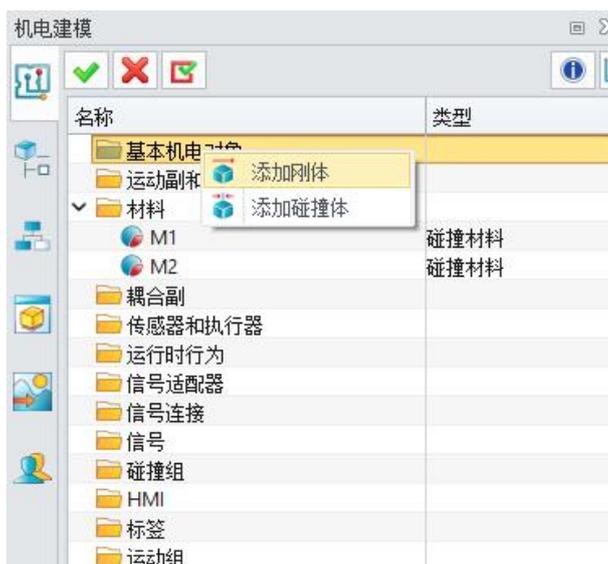


图 13-9: 添加刚体



图 13-10: 刚体信息

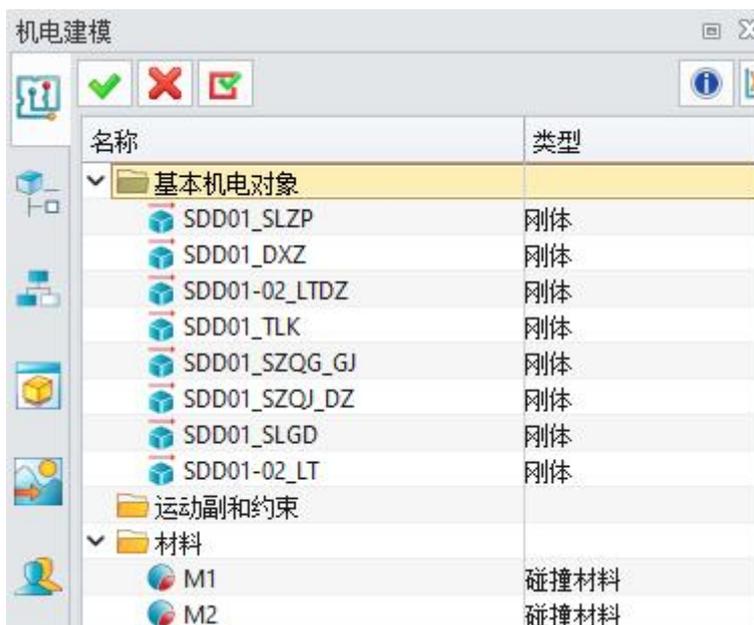


图 13-11: 刚体

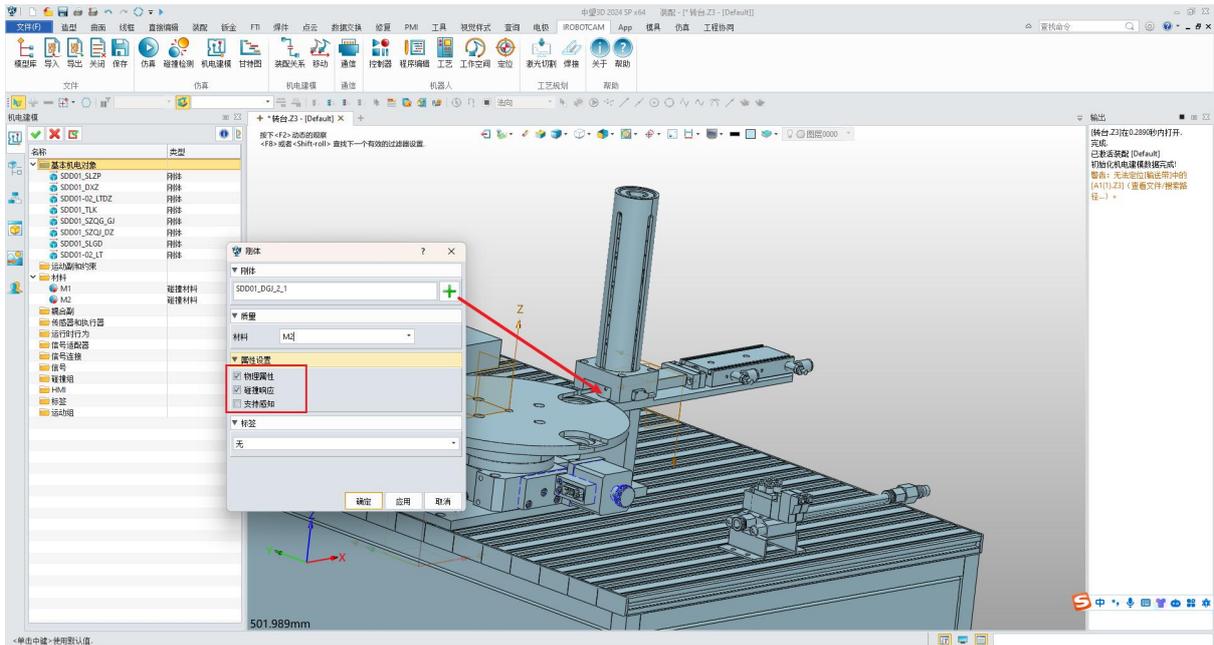


图 13-11: 额外刚体

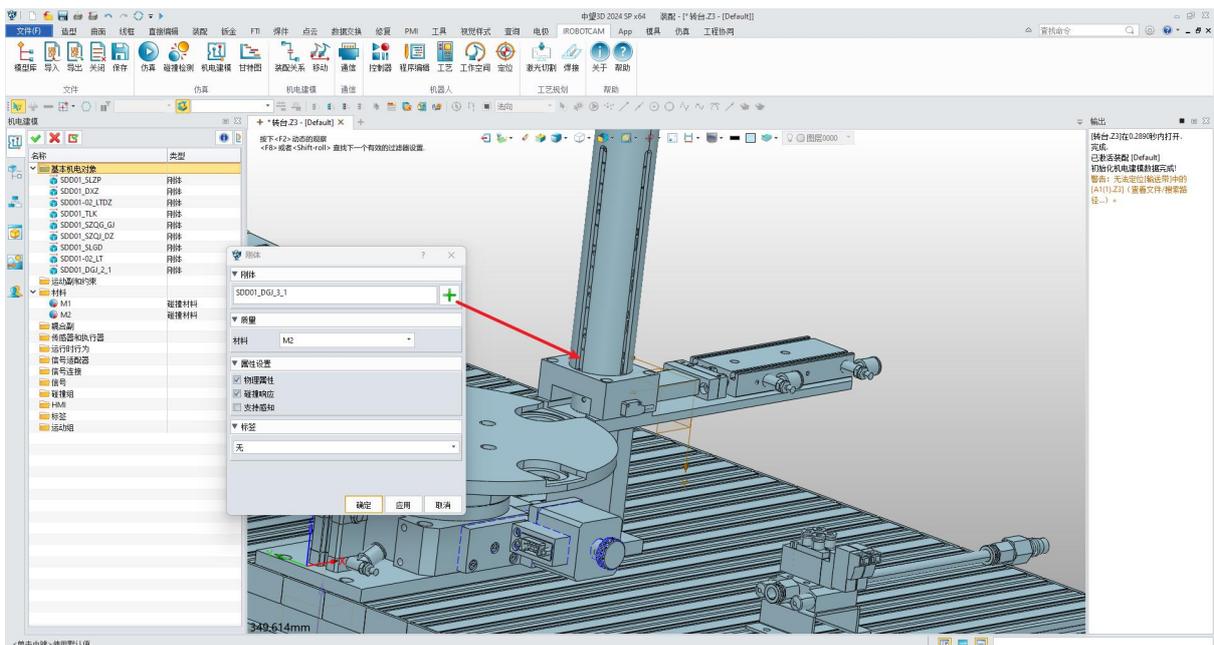


图 13-12: 刚体信息

步骤 4: 定义碰撞体

- 点击"机电建模"按钮。(图 13-13)
- 打开"基本机电对象"窗口, 选择"添加碰撞体"。(图 13-14)
- 为转盘组件创建六个碰撞体。(图 13-15)

- 选择适当的碰撞形状，如"凸分解"或"凸包"。(图 13-16)
- 为每个碰撞分配质量、材料和属性设置。(图 13-16)



图 13-13: 机电建模

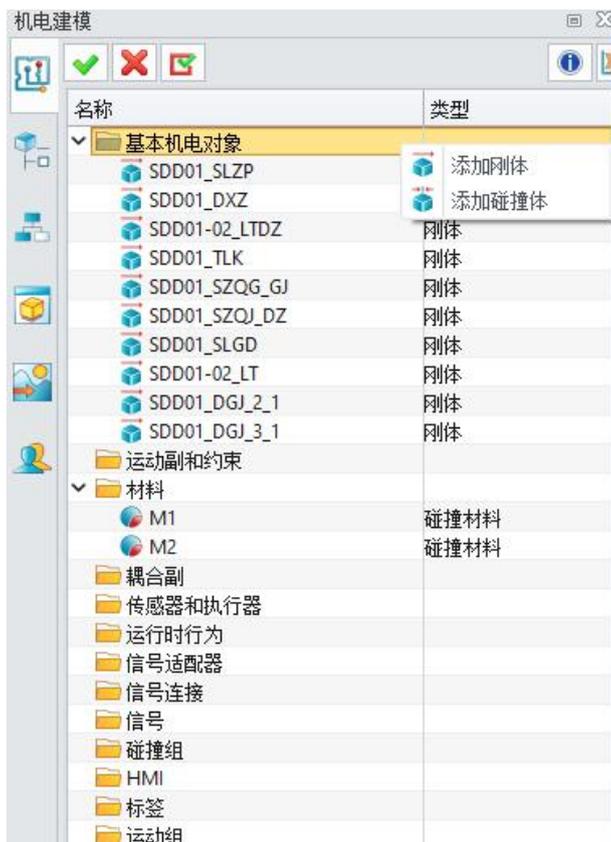


图 13-14: 添加碰撞体

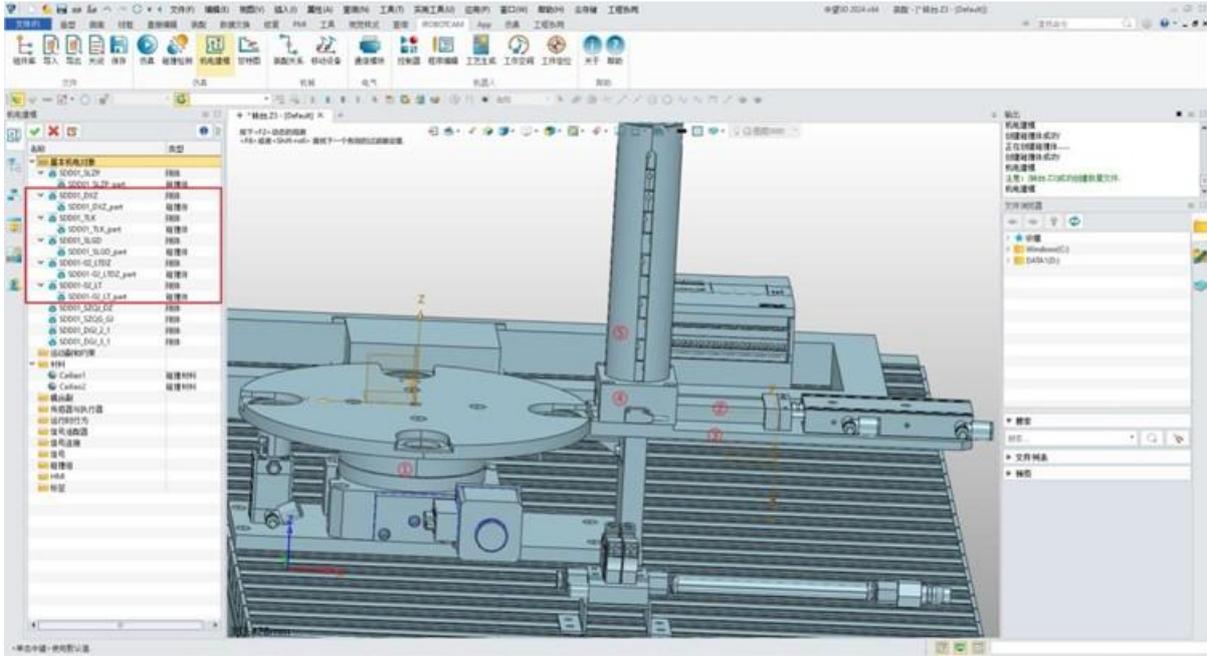


图 13-15: 六个碰撞体

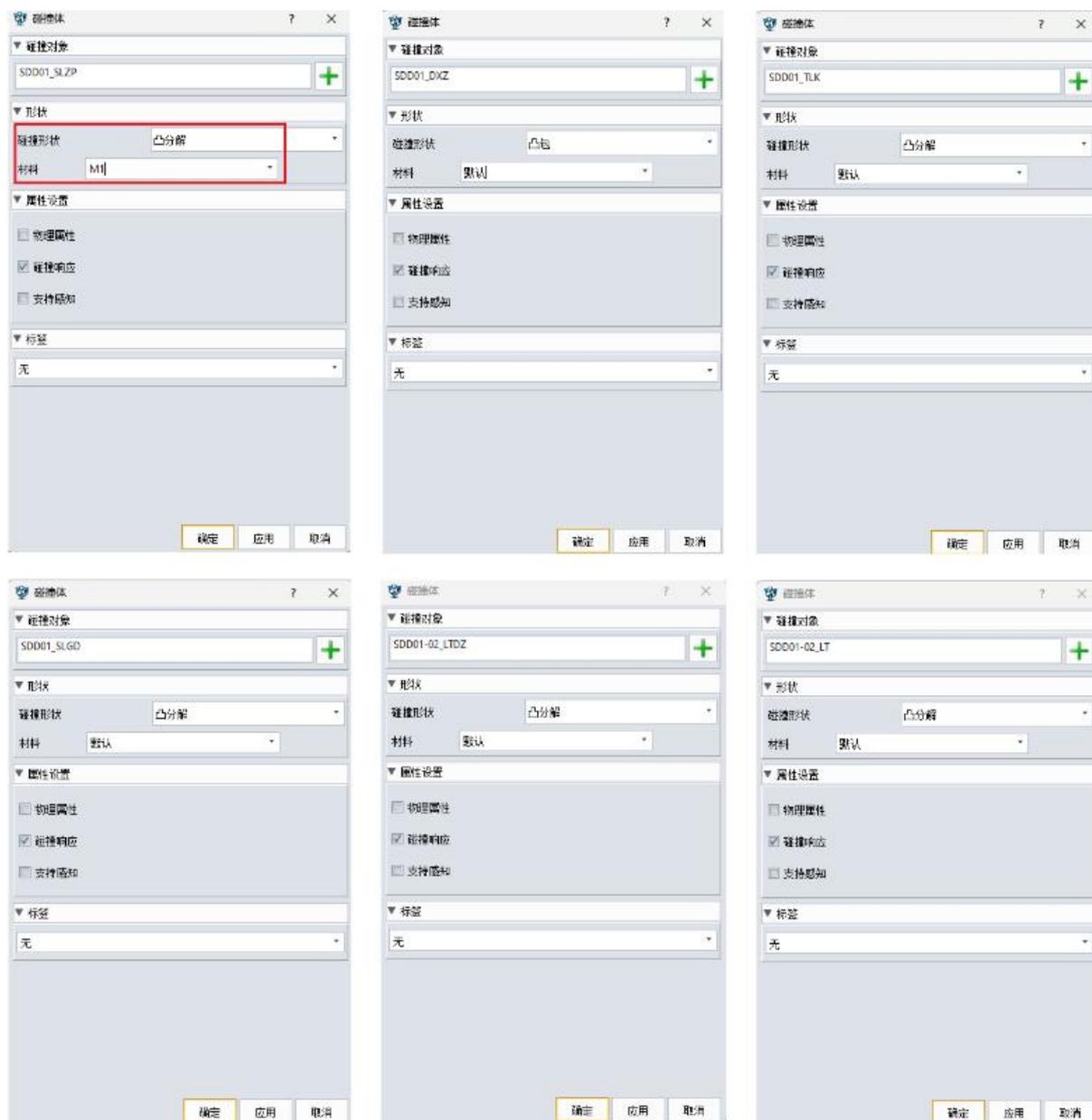


图 13-16: 碰撞体信息

步骤 5: 定义运动副

- 点击 "机电建模" 按钮。(图 13-17)
- 打开 "运动副和约束" 窗口, 选择 "添加铰链副和滑动副"。(图 13-18)
- 创建一个铰链副用于转盘底座, 并指定轴、起始角度、限制和运动类型。(图 13-19)
- 创建一个滑动副用于圆柱, 并定义轴、偏移、限制和运动类型。(图 13-20)



图 13-17: 机电建模

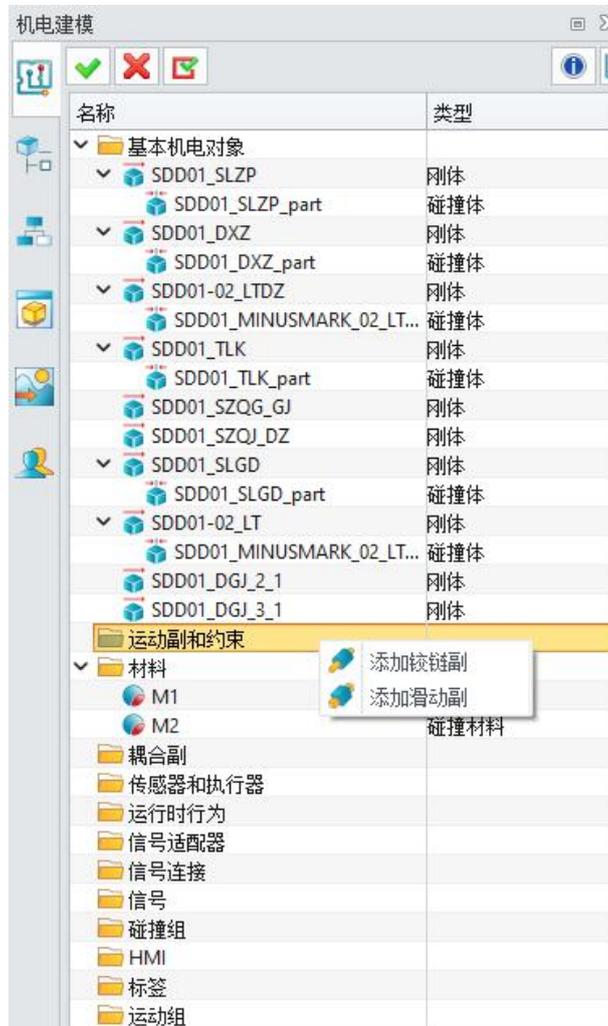


图 13-18: 添加运动副

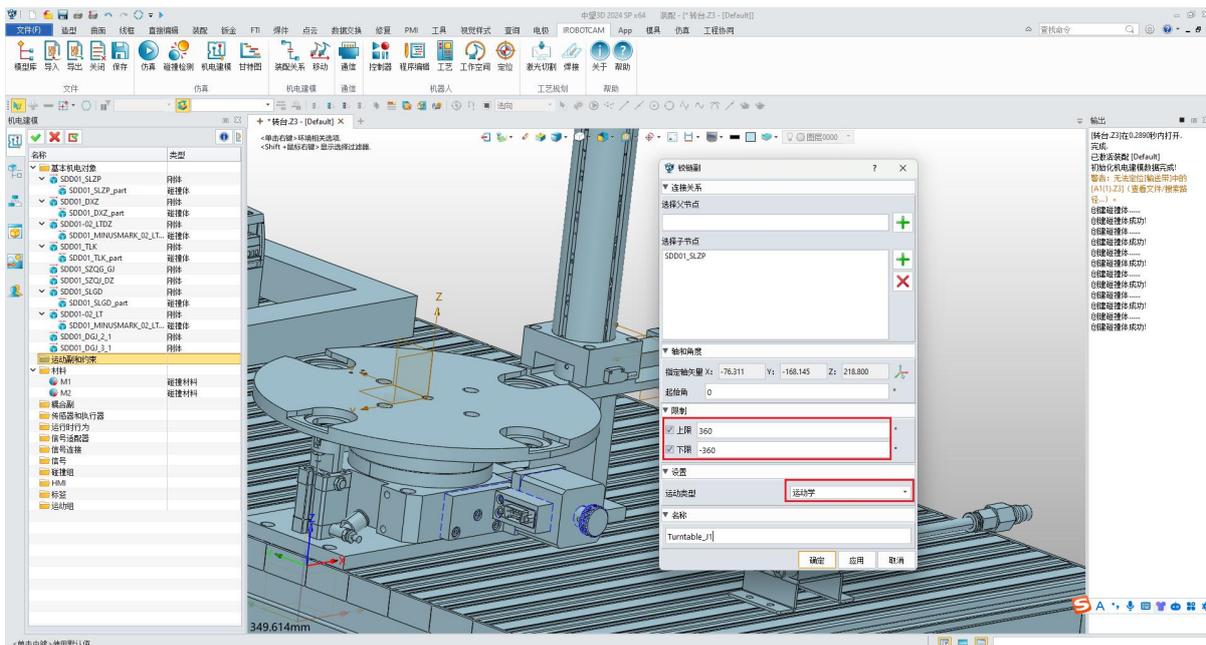


图 13-19: 添加铰链副

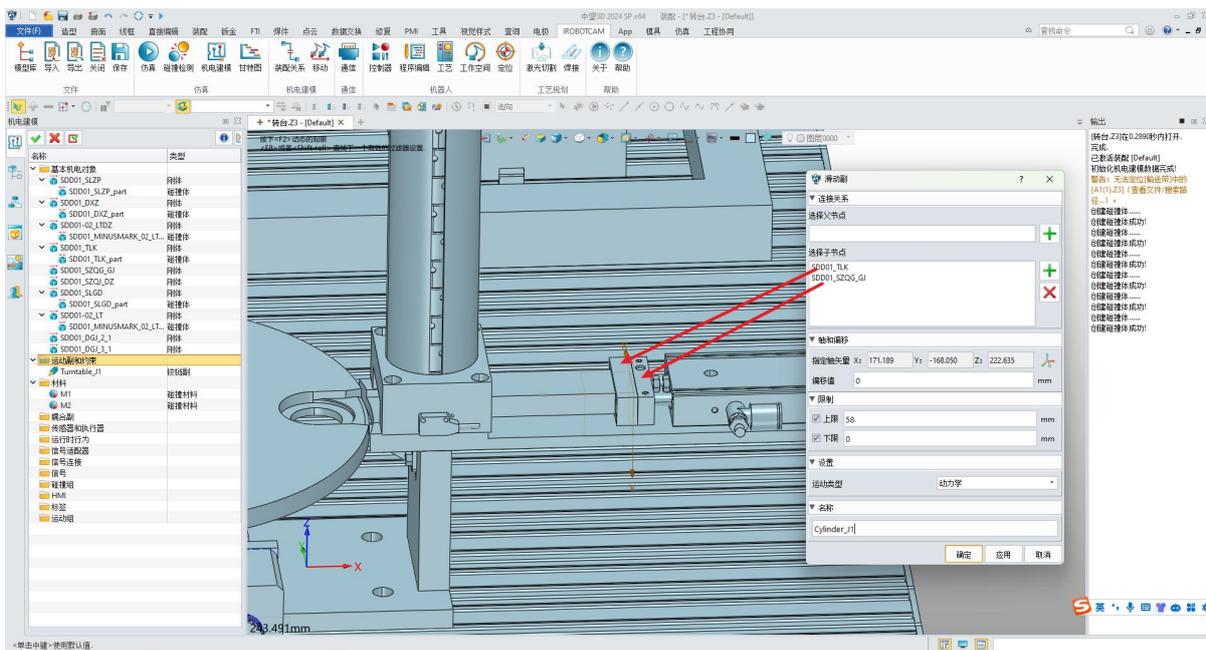


图 13-20: 添加滑动副

步骤 6: 定义输出信号

- 点击 "机电建模" 按钮。(图 13-21)
- 打开 "信号" 窗口, 选择 "添加信号"。(图 13-22)
- 创建两个输出信号: "Turntable_Out" 和 "Cylinder_Out"。(图 13-23)
- IO 类型为"输出", 分配名称, 并设置端口值。(图 13-23)



图 13-21: 机电建模

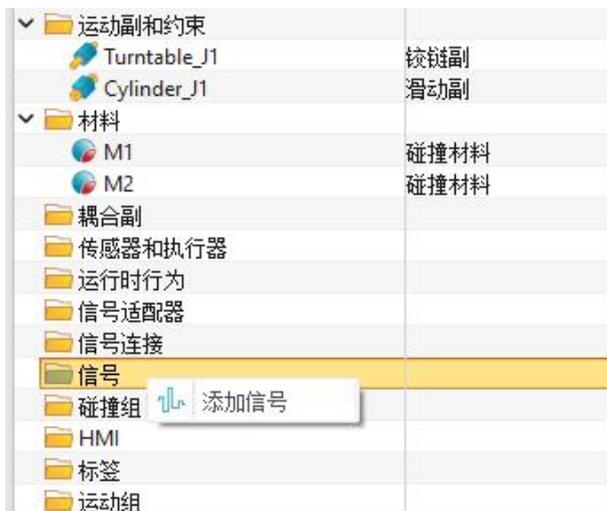


图 13-22: 添加信号



图 13-23: 输出信号

步骤 7: 实现位置控制

- 点击 "机电建模" 按钮。(图 13-24)
- 打开 "传感器和执行器" 窗口, 选择 "添加位置控制"。(图 13-25)
- 为 "Turntable" 和 "Cylinder" 分别定义位置控制。(图 13-26/13-27)

- 将控制与相应的运动副和刚体相关联。(图 13-26/13-27)
- 为每个控制指定坐标系、信号、轴类型、目标位置、速度和加速度限制。(图 13-26/13-27)



图 13-24: 机电建模

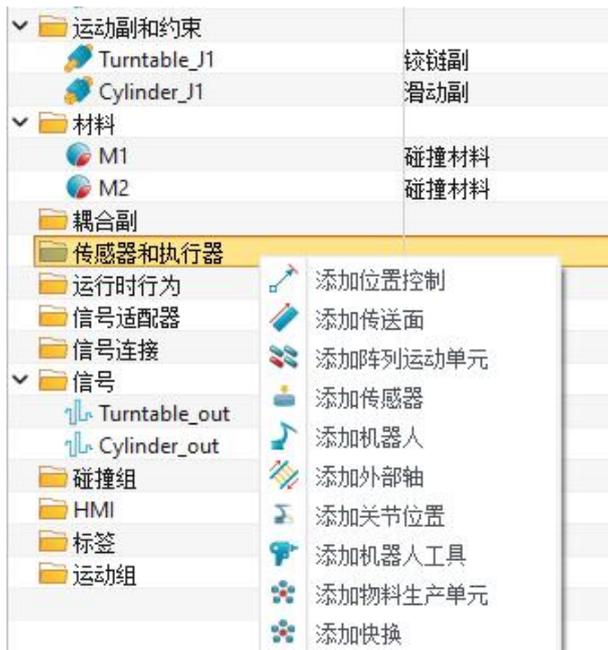


图 13-25: 添加位置控制

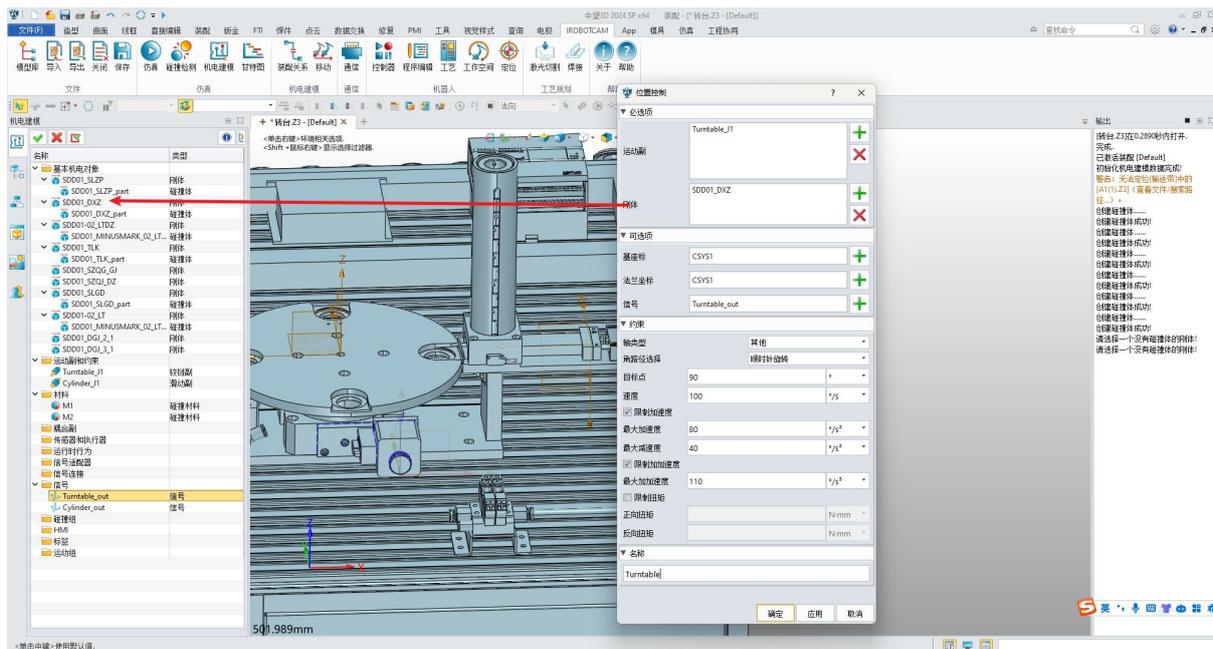


图 13-26: Turntable 信息

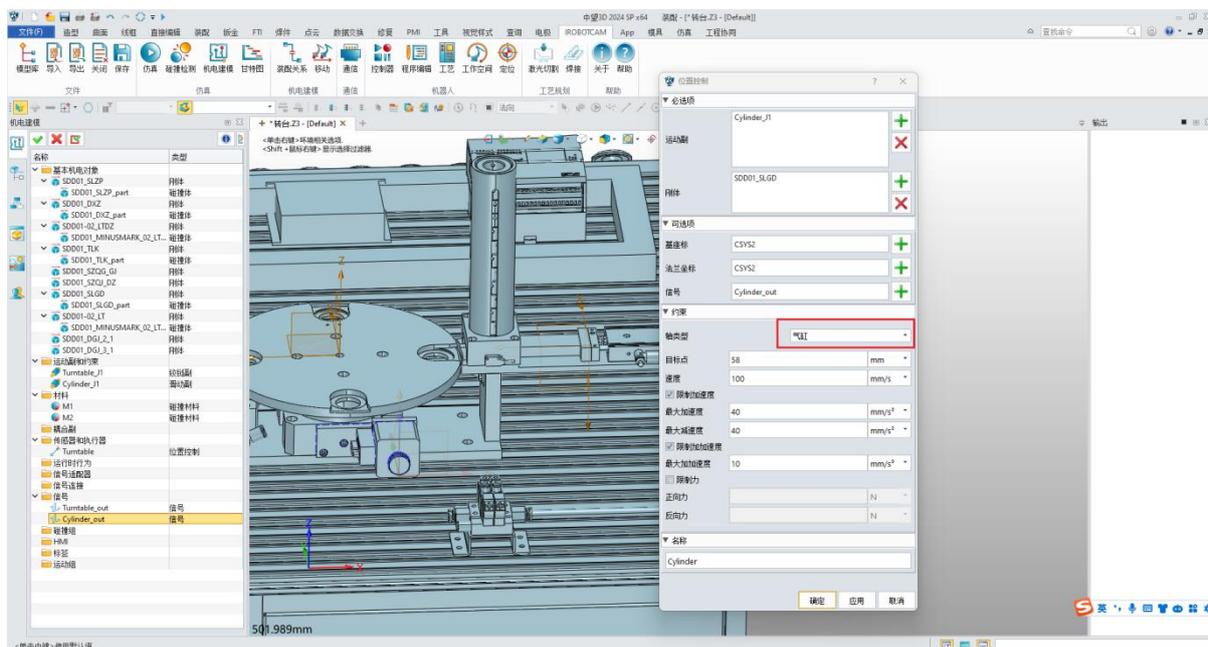


图 13-27: Cylinder 信息

步骤 8: 创建信号适配器

- 点击 "机电建模" 按钮。(图 13-28)
- 打开 "信号适配器" 窗口, 选择 "添加信号适配器"。(图 13-29)
- 创建两个信号适配器: "Turntable_SD" 和 "Cylinder_SD"。(图 13-30)
- 分配相应的 "Turntable" 和 "Cylinder" 控制信号。(图 13-30)
- 为每个适配器定义数据类型、输入/输出方向、初始值和公式。(图 13-30)



图 13-28: 机电建模按钮

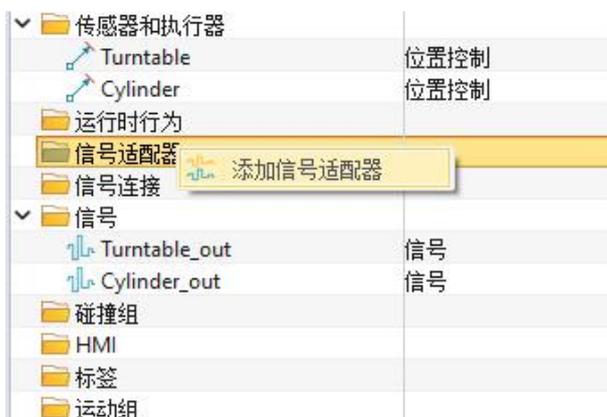


图 13-29: 添加信号适配器

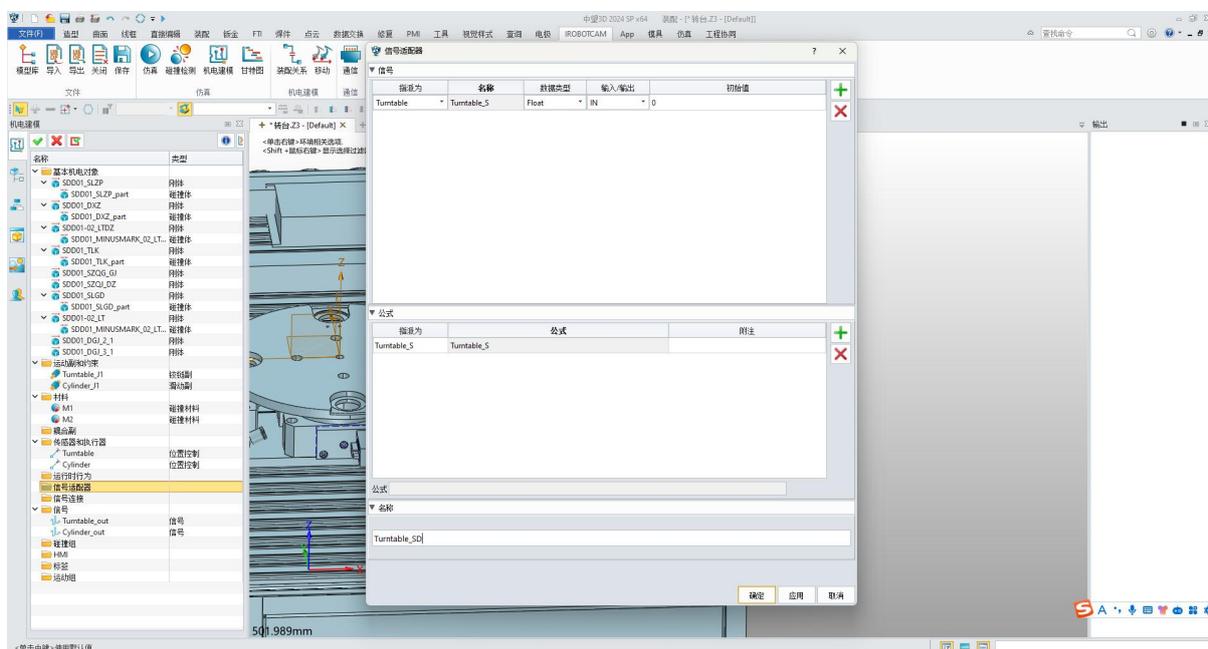


图 13-30: 两个信号适配器

步骤 9: 定义输入信号

- 点击 "机电建模" 按钮。(图 13-31)
- 打开 "信号" 窗口, 选择 "添加信号"。(图 13-32)
- 为 "Turntable" 和 "Cylinder" 创建输入信号。(图 13-33)
- IO 类型为输入, 分配名称, 并设置端口值。(图 13-34)



图 13-31：机电建模按钮

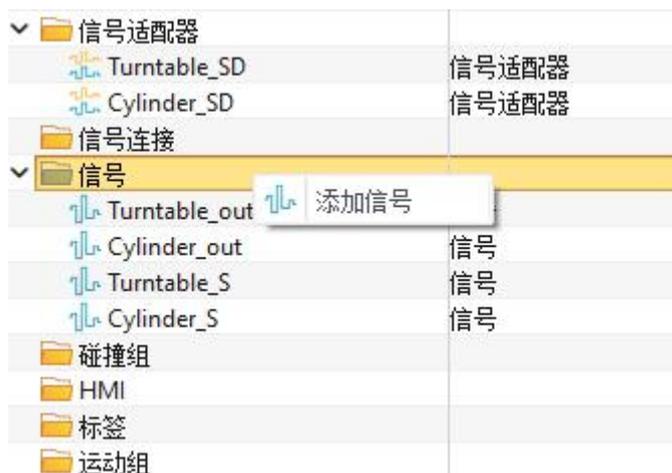


图 13-32：添加信号



图 13-33：六个信号



图 13-34: 信号信息

步骤 10: 设计仿真序列

- 点击 "机电建模" 按钮。(图 13-35)
- 打开 "运行时行为" 窗口, 选择 "添加仿真序列"。
- 创建三个仿真序列: (图 13-36)(图 13-37)
 - ◇ "Turntable_EXEC1": 根据特定的输入和输出信号, 在 5 秒内激活转盘达到 90 度
 - ◇ "Cylinder_EXEC1": 根据转盘的位置, 在 5 秒内将气缸移动到 58 个单位。
 - ◇ "Cylinder_EXEC2": 根据另一个输入信号, 在 5 秒内激活气缸使其达到 58 个单位。



图 13-35: 机电建模按钮

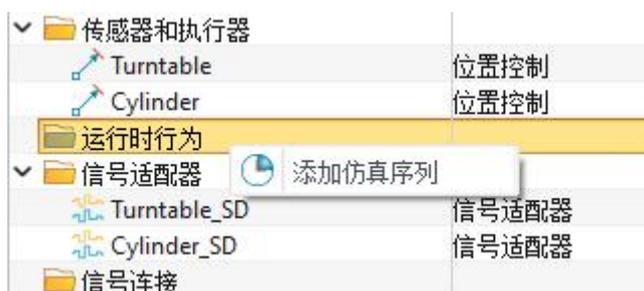


图 13-36: 添加仿真序列



图 13-37: 仿真序列信息

步骤 11: 仿真和验证

- 在 "IROBOTCAM" 列中, 点击 "仿真" 按钮。(图 13-38)
- 点击 "开始" 按钮启动转盘操作。(图 13-39)



图 13-38: 仿真按钮



图 13-39: 开始按钮

第十四章：激光切割

简介

- 激光切割是一种利用激光束对材料进行切割的技术。它具有切割速度快、精度高、切口光滑、热影响区小等优点，广泛应用于钣金加工、电子元件、机械制造、汽车制造、航空航天等领域。
- 软件提供了激光切割仿真功能，用户可以模拟切割过程，查看切割效果。

本指南提供在 IROBOTCAM 软件中激光切割的逐步说明。

第 1 步：打开 iRobotCAM 项目文件

- 打开名为“激光切割.Z3”的 iRobotCAM 项目文件以进入 IROBOTCAM 环境。



图 14-1：打开按钮

- 打开后界面如图所示。

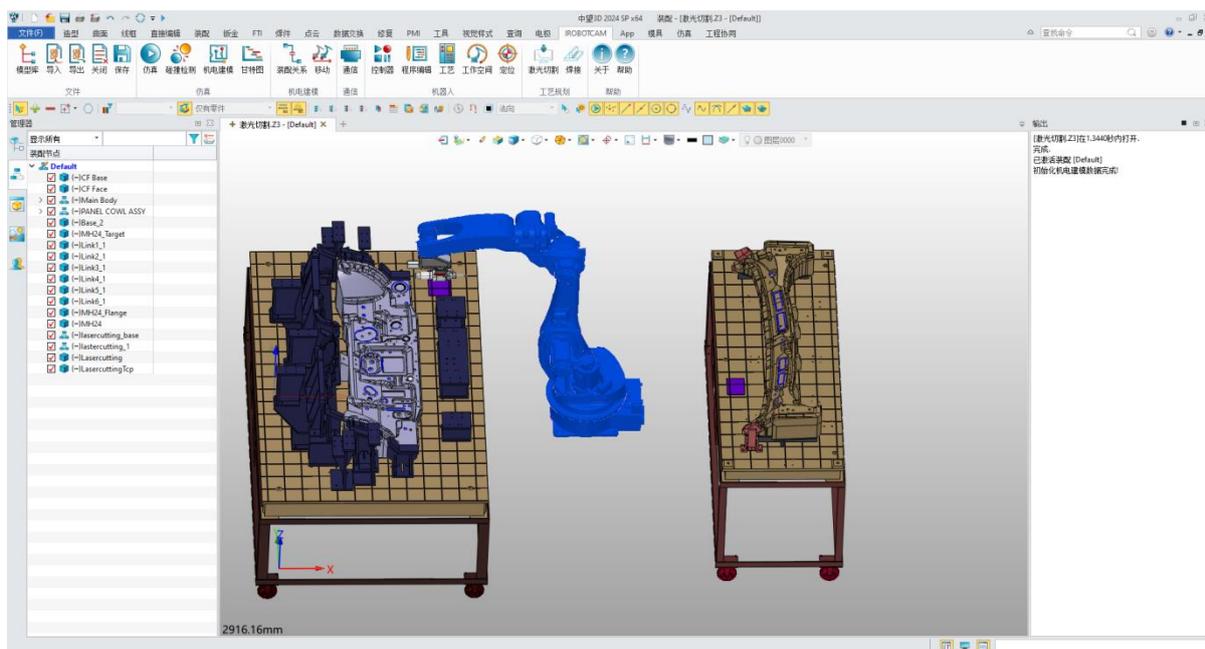


图 14-2: 界面详情

第 2 步: 添加碰撞检测

- 单击“IROBOTCAM”进入机电建模界面。



图 14-3: 机电建模按钮

- 在碰撞组窗口, 选择工件的碰撞体创建碰撞组, 其工件的碰撞体窗口下需勾选支持感应。

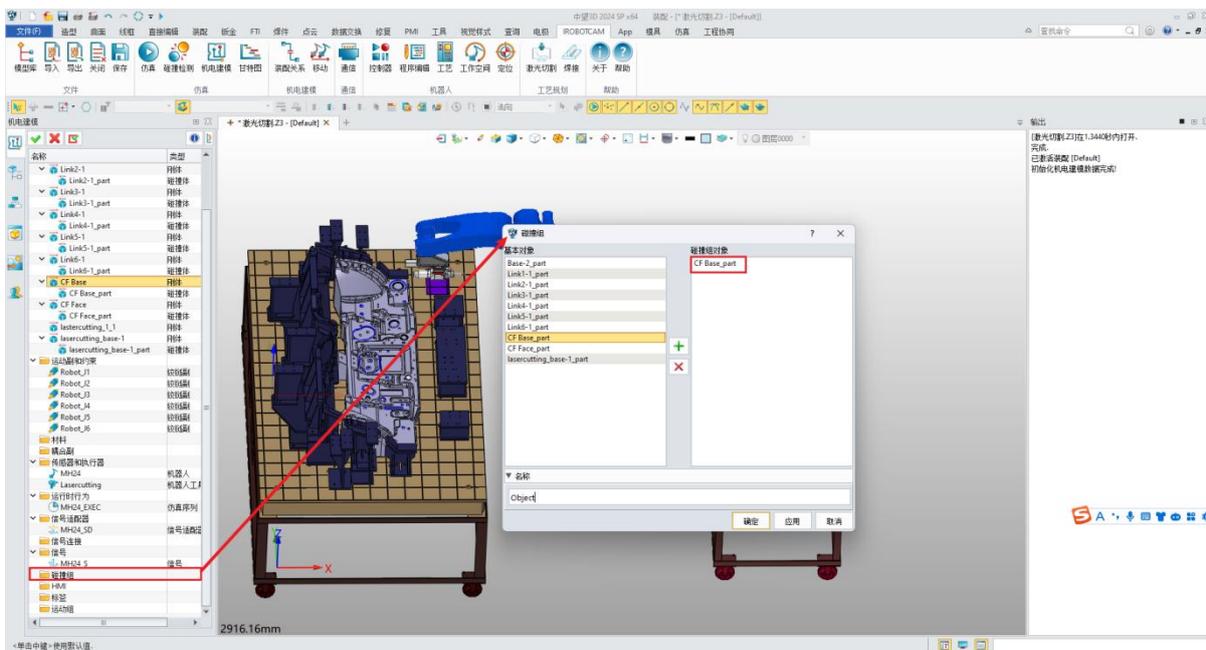


图 14-4: 工件碰撞组

- 在碰撞组窗口, 选择机器人的碰撞体和机器人工具的碰撞体创建碰撞组, 其工件的碰撞体和工具的碰撞体窗口下需勾选支持感应。

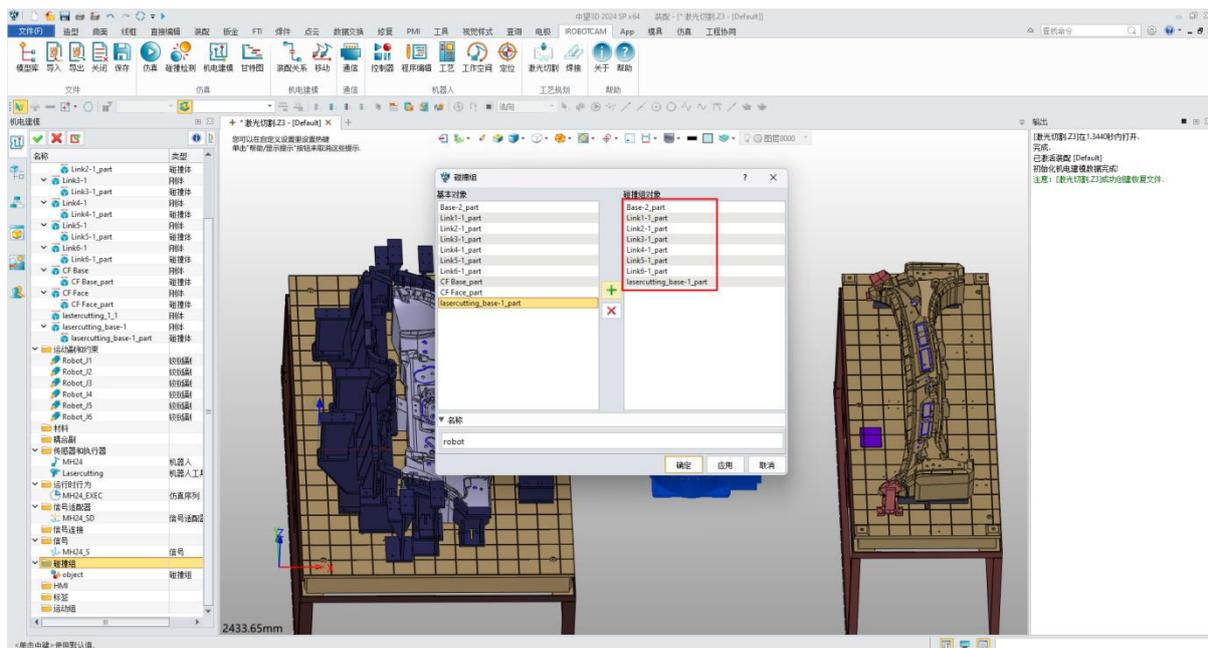


图 14-5: 机器人和机器人工具碰撞组

- 点击碰撞检测按钮。
- 目标物体选择“robot”。障碍物选择“object”。
- 点击“+”按钮，进行添加。

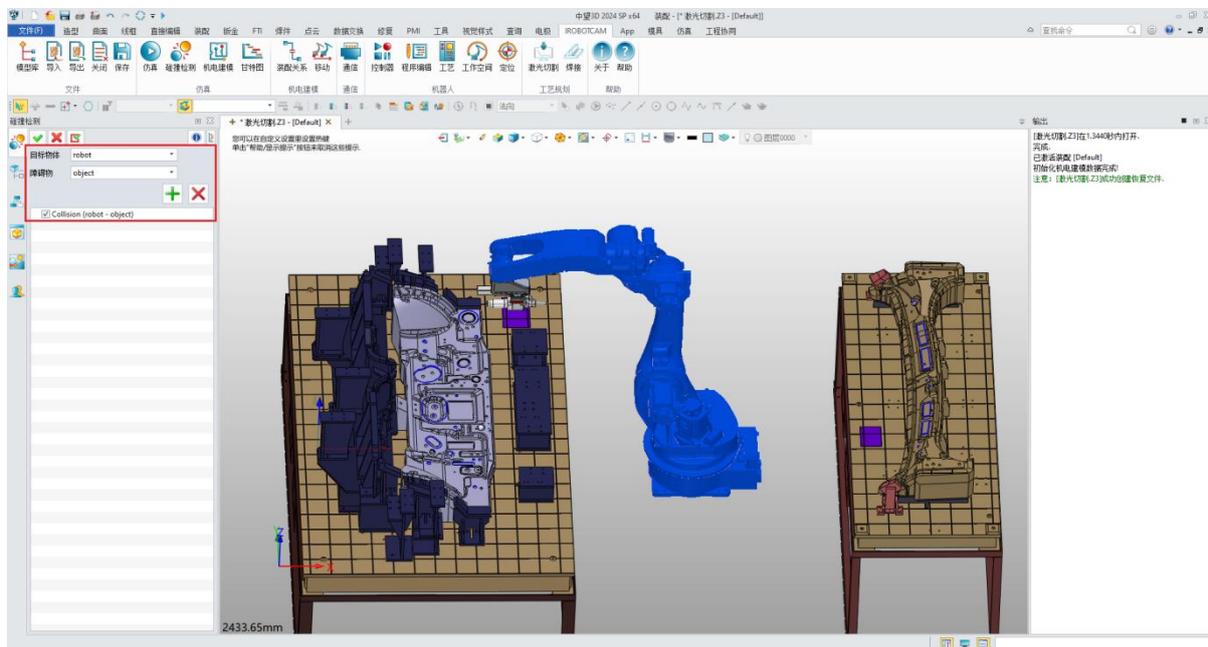


图 14-6: 碰撞检测

第 3 步: 添加曲线列表

- 双击激活进入切割的组件。

- 点击线框按钮，进入曲线列表窗口。
- 选择切割的边创建曲线列表。

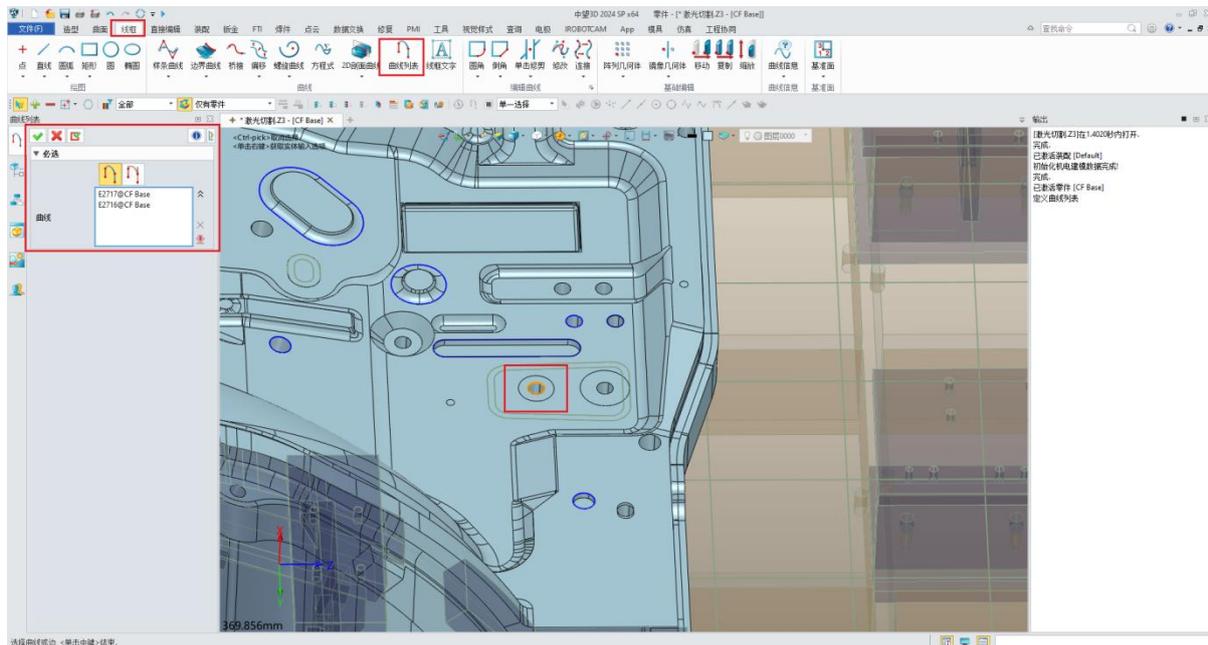


图 14-7：曲线列表

第 4 步：激光切割-选择路径

- 点击激光切割按钮。



图 14-8：激光切割

- 在“选择路径”窗口，点击选择零件按钮，选择需要切割的工件。
- 下拉选择机器人控制器。
- 在选择路径栏，首先通过点击添加按钮，将需要切割的边的曲线列表进行全部添加。（注意添加按钮点击一次只能添加一次曲线列表）

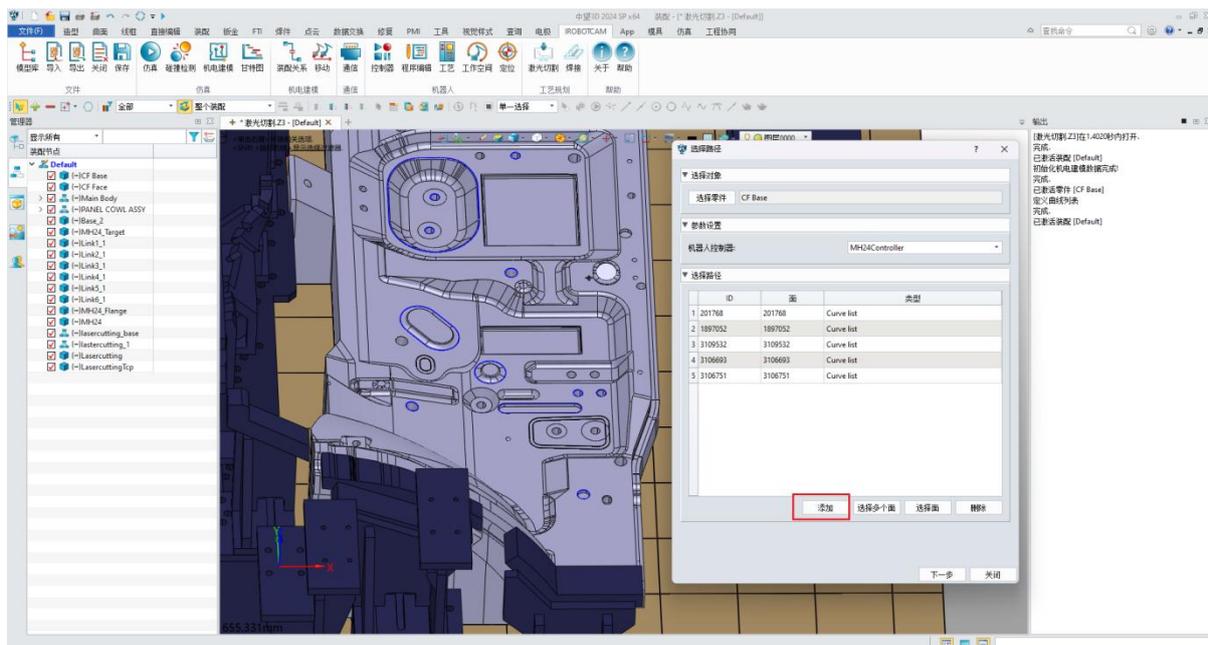


图 14-9: 选择路径-添加曲线列表

- 添加切割边曲线列表所在的全部面。
- 添加完所有曲线列表后，点击曲线列表所在的所有面，通过 CTRL 键进行全部选中。
- 然后点击选择多个面的按钮。添加完成后，输出框未提示报错则添加成功。

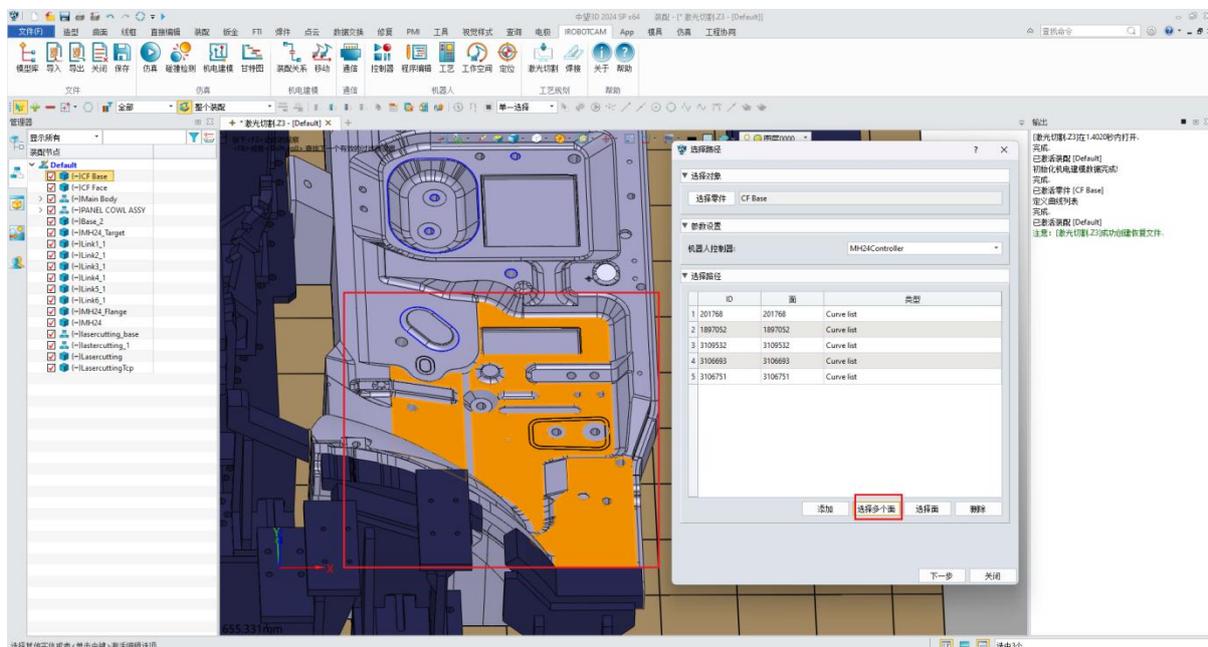


图 14-10: 选择多个面

第 5 步: 路径离散化

- 点击“下一步”。
- 弦高比默认值即可。
- 点击离散化按钮，离散化窗口会生成离散化点位。
- 点击显示离散化结果，可以查看离散化点位的坐标系方向。

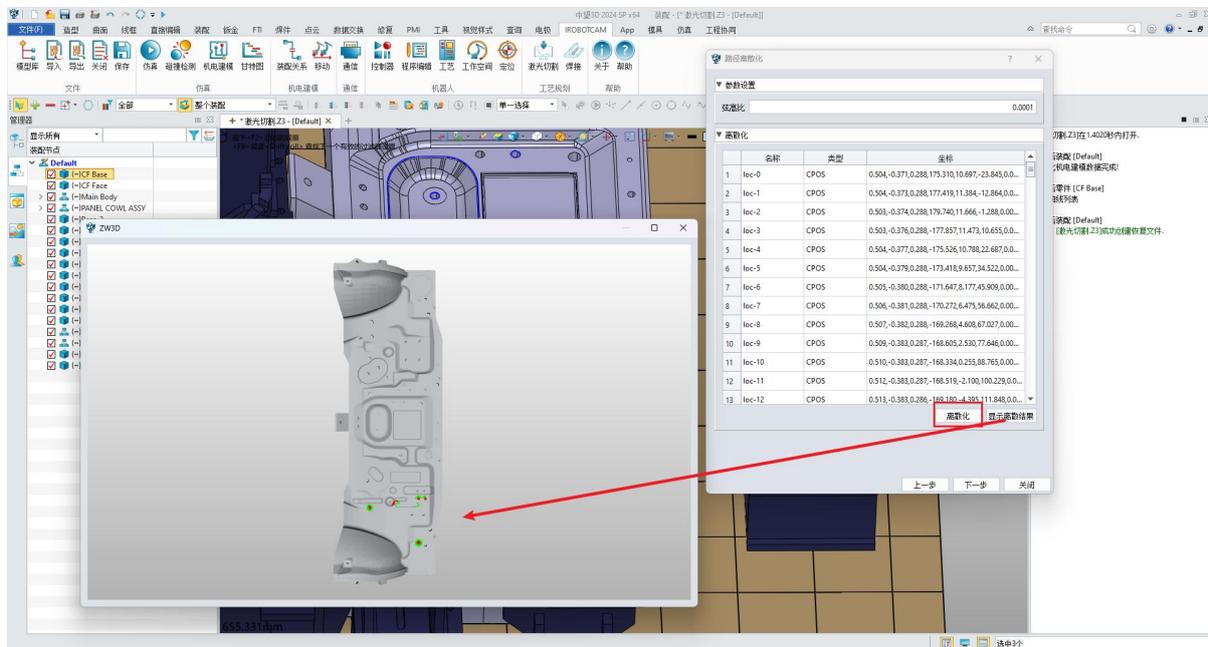


图 14-11：路径离散化

第 6 步：过渡点排序

- 点击“下一步”。
- 点击“工艺排序计算”按钮。
- 在工艺排序计算图中查看激光切割的顺序。

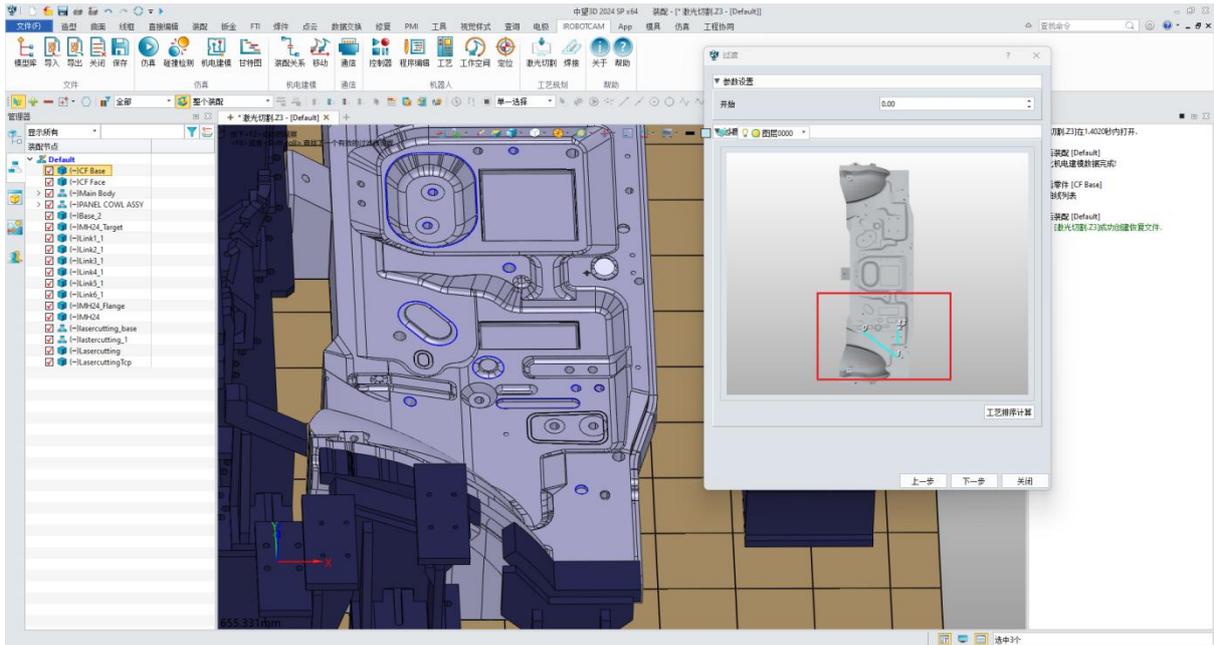


图 14-12: 过渡点排序

第 7 步: 路径优化

- 点击“下一步”。
- 在抬枪高度栏，输入抬枪高度值。
- 点击“编辑程序”按钮，可以查看离散化后的抬枪高度坐标位置。
- 点击计算按钮，自动列出可达、奇异和碰撞三个检测表格。
- 最后点击优化路径按钮，在优化路径窗口，依次点击“修改填充数据”、和“路径优化”按钮。
- 优化路径窗口，点击修改填充数据，红色显示代表碰撞的检测。

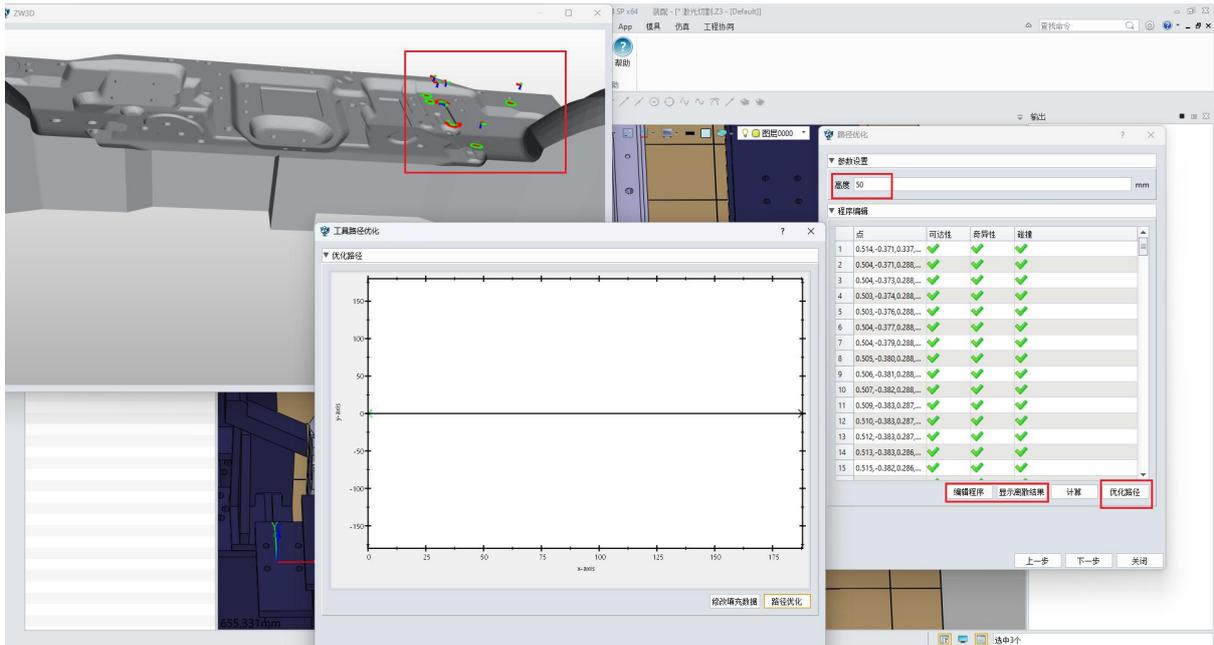


图 14-13: 优化路径

第 8 步: 生成程序

- 点击“下一步”。
- 在生成程序窗口下，速度和加速度设置了默认值。
- 程序管理栏下，添加程序编辑下的 JOB 和 Program 程序。
- 在程序生成栏，点击“生成程序”按钮。
- 点击关闭按钮。

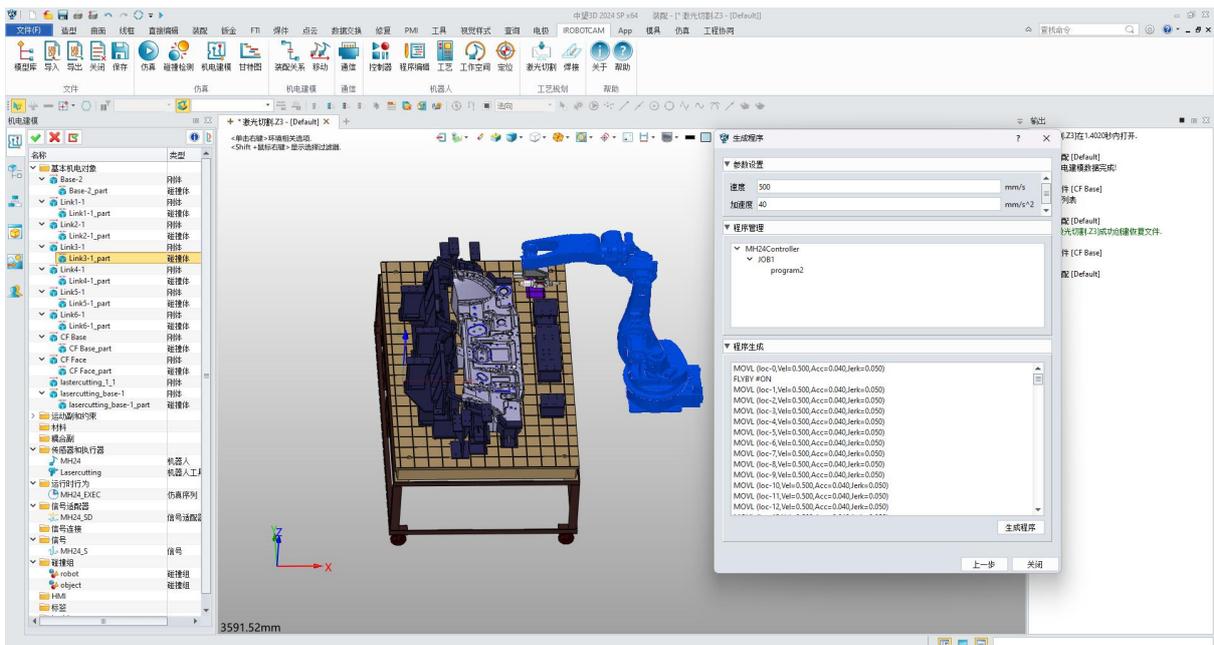


图 14-14: 生成程序

第 9 步: 仿真实验

- 若程序添加了仿真序列，则可以点击仿真按钮进行验证。若无可在程序编辑窗口点击运行，查看激光切割的效果。
- 在激光切割过程中，若检测到碰撞，目标物体会以高亮的形式显示出来。

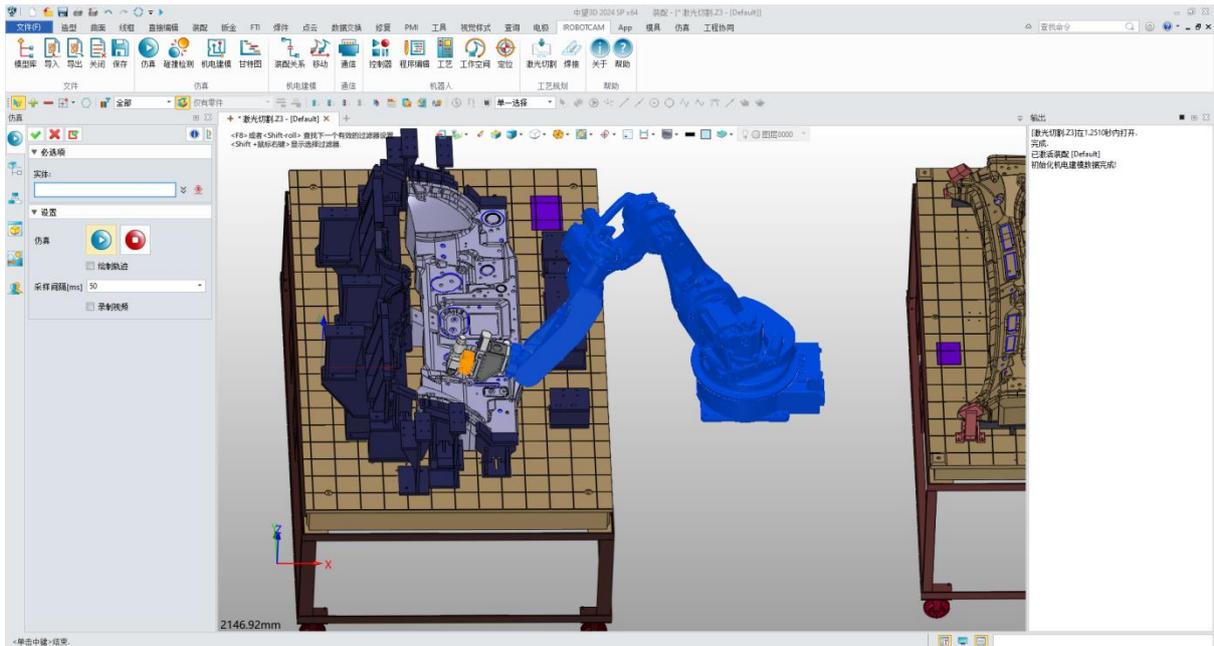


图 14-15: 仿真实验

- 软件场景中提供了两种切割工件，用户可自行尝试激光切割功能。

第十五章： 焊接

简介

- 焊接是指利用加热或加压，或两者同时并用，使两个分离的物体产生原子间结合力而连接成一体的成形方法。焊接是制造业中不可缺少的重要工艺，广泛应用于机械制造、建筑、船舶、航空航天、电子等领域。。
- 软件提供了焊接仿真功能，用户可以模拟焊接过程，查看焊接效果。

本指南提供在 IROBOTCAM 软件中焊接的逐步说明。

第 1 步：打开 iRobotCAM 项目文件

- 打开名为“焊接.Z3”的 iRobotCAM 项目文件以进入 IROBOTCAM 环境。



图 15-1： 打开按钮

- 打开后界面如图所示。

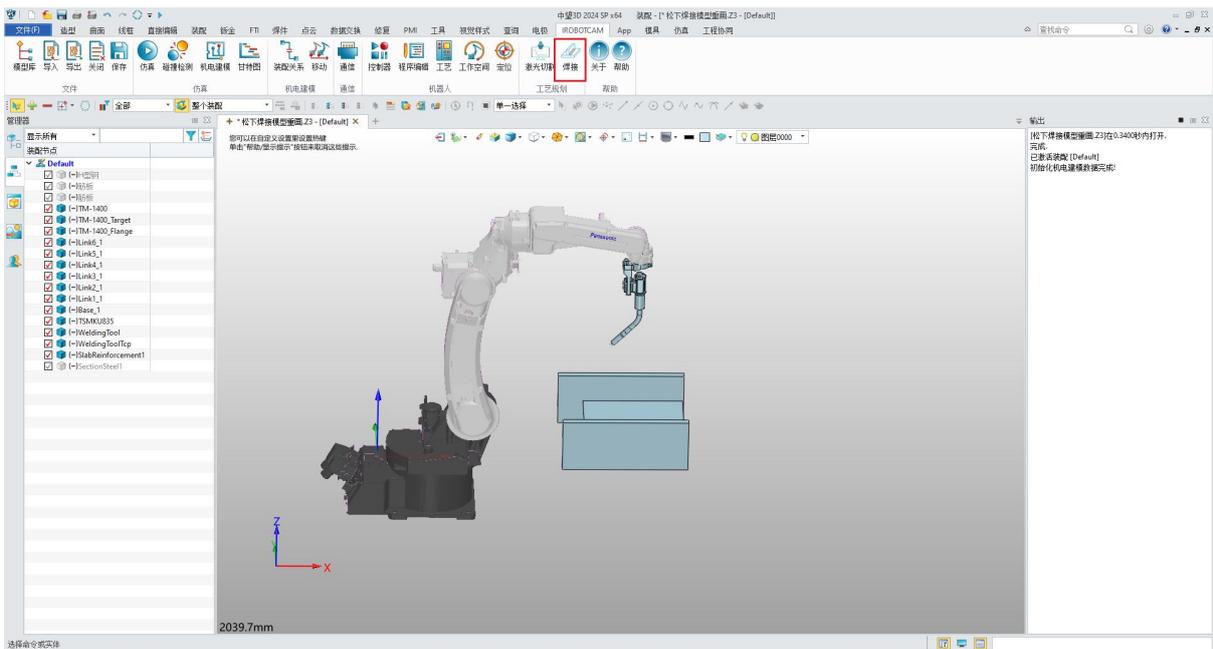


图 15-2: 界面详情

第 2 步: 添加碰撞检测

- 单击“IROBOTCAM”进入机电建模界面。



图 15-3: 机电建模

- 在碰撞组窗口，选择工件的碰撞体创建碰撞组，其工件的碰撞体窗口下需勾选支持感应。

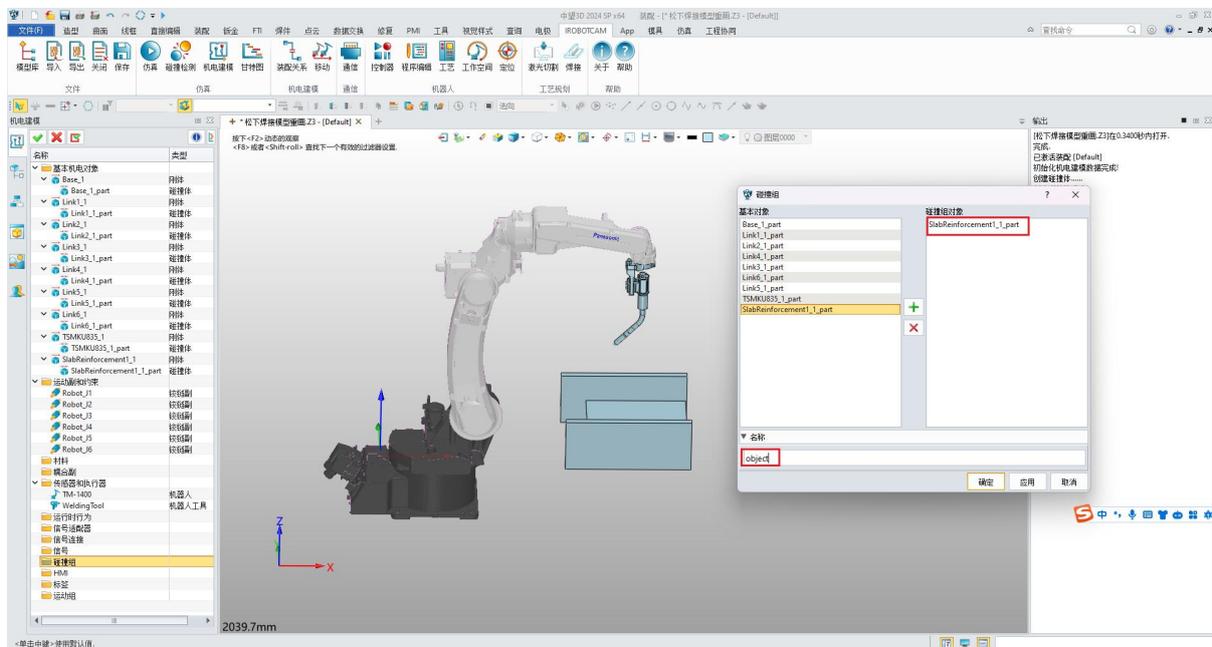


图 15-4: 工件碰撞组

- 在碰撞组窗口，选择机器人的碰撞体和机器人工具的碰撞体创建碰撞组，其工件的碰撞体和工具的碰撞体窗口下需勾选支持感应。

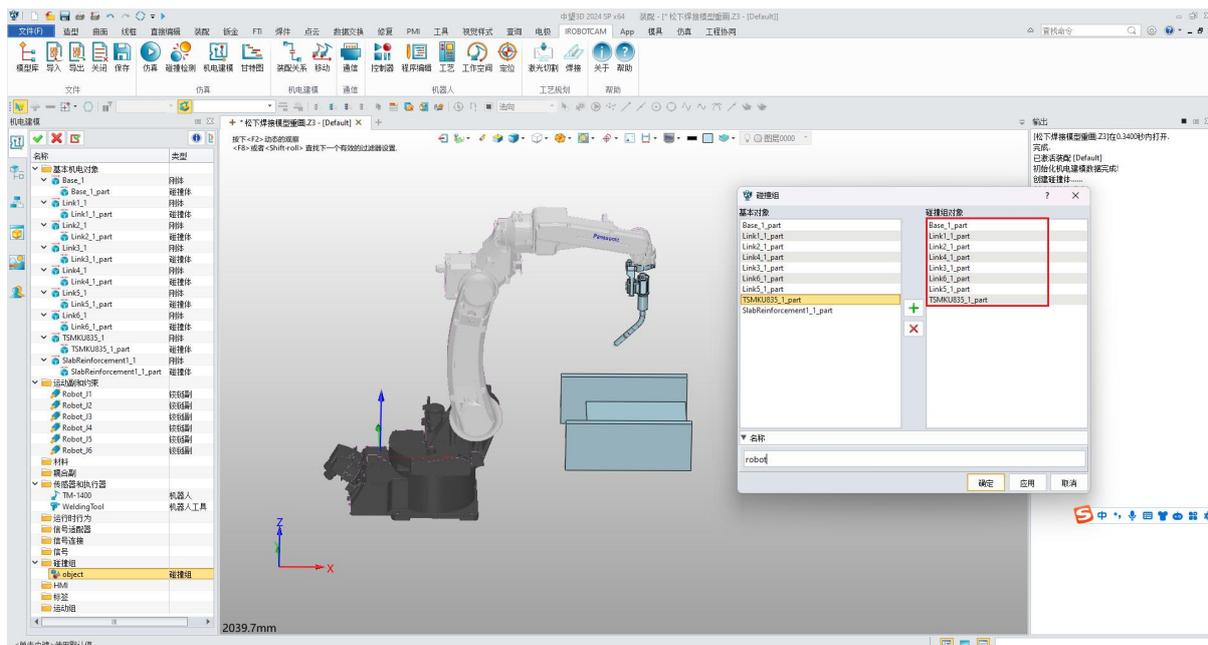


图 15-5: 机器人和机器人工具碰撞组

- 点击碰撞检测按钮。
- 目标物体选择“robot”。障碍物选择“object”。
- 点击“+”按钮，进行添加。

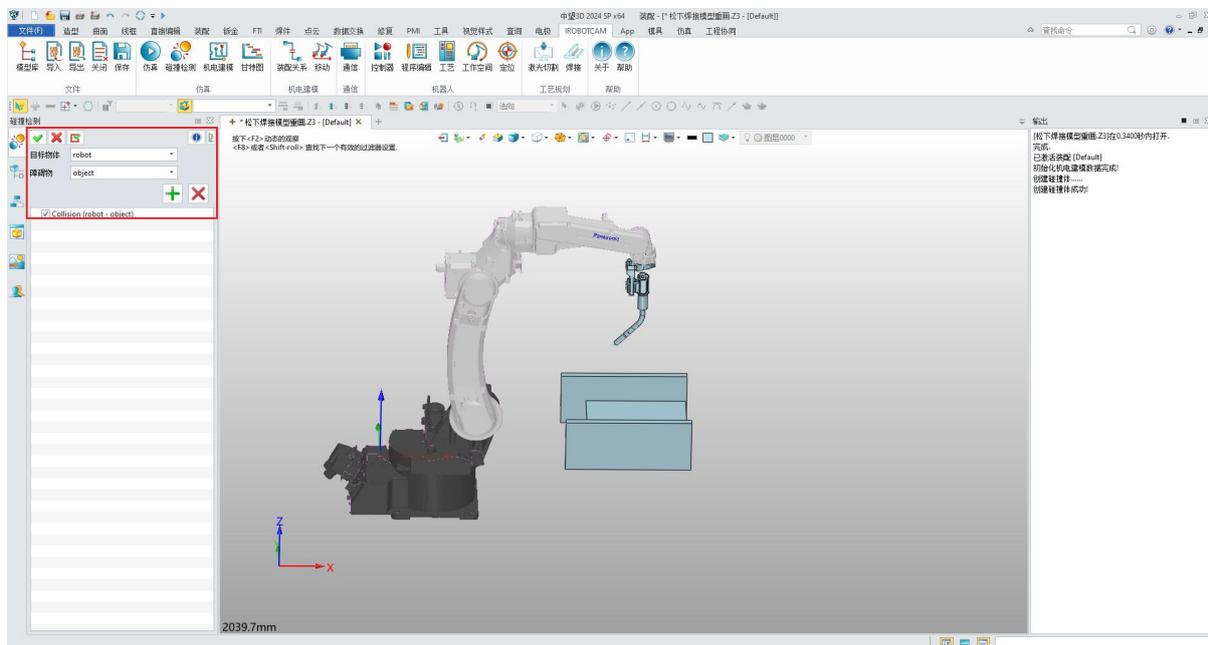


图 15-6: 碰撞检测

第 3 步: 添加焊缝

- 点击焊件按钮。

- 点击角焊缝，在角焊缝栏，分别选择两个面，输入焊脚的宽度。
- 焊件功能在特定 ZW3D 授权码下可使用。

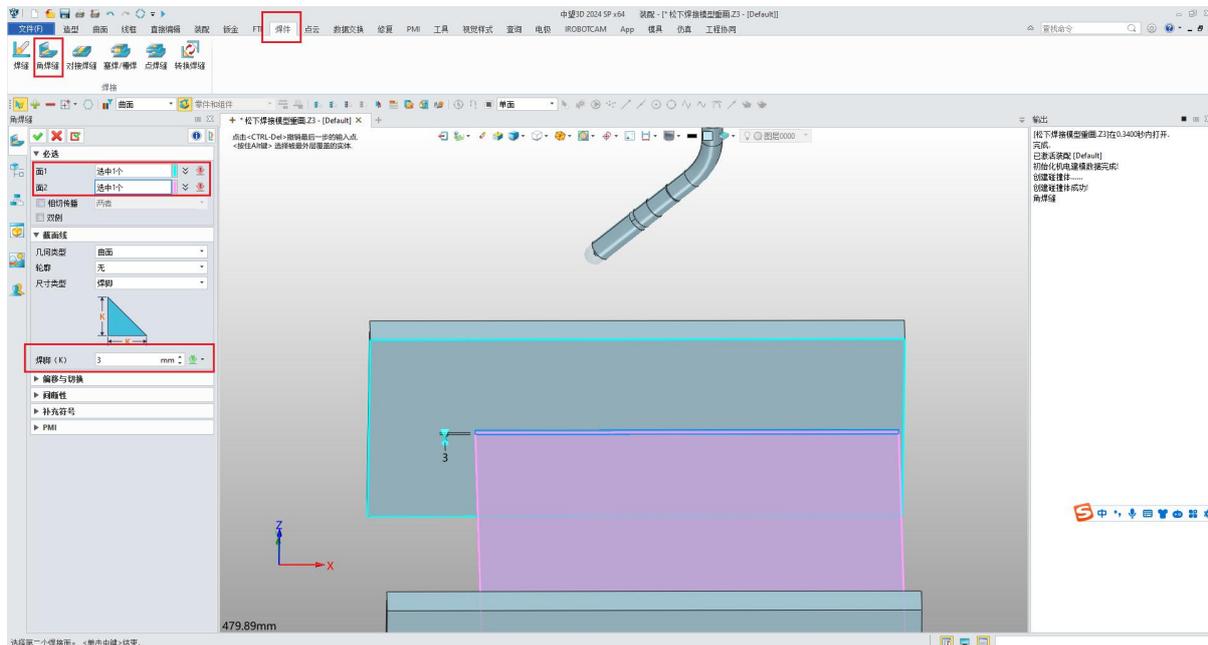


图 15-7：添加焊缝

第 4 步：焊接-选择路径

- 点击焊接按钮。



图 15-8：焊接

- 在“选择路径”窗口，点击选择零件按钮，选择需要焊接的工件。
- 下拉选择机器人控制器。
- 在选择路径栏，首先通过点击添加按钮，添加生成的焊缝面。

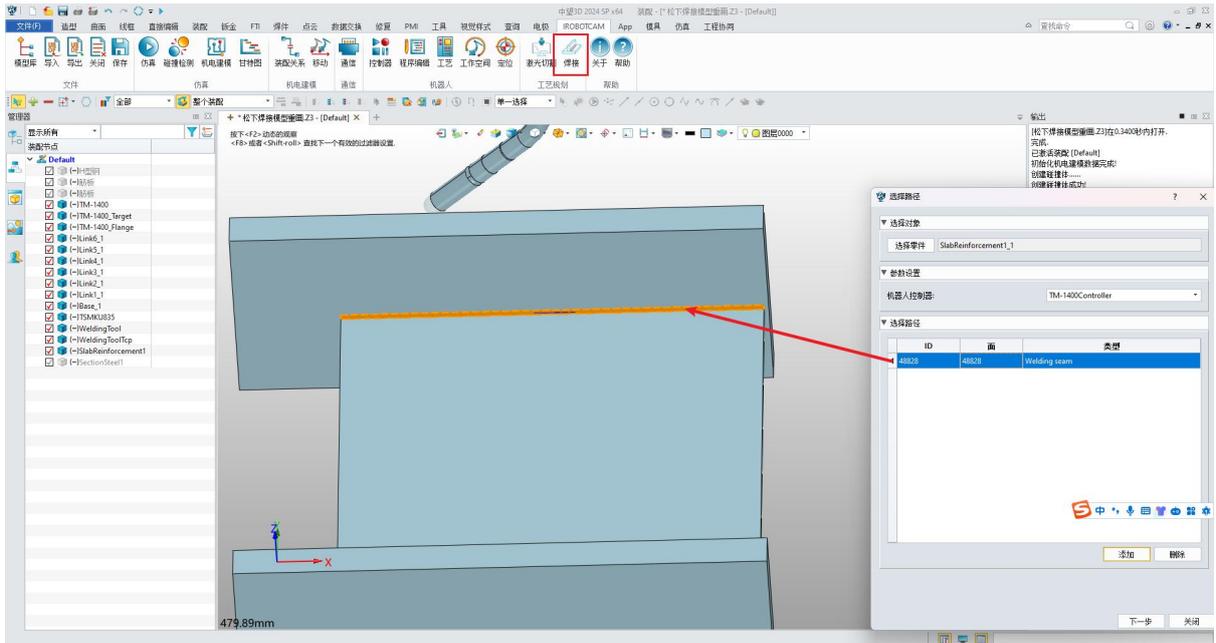


图 15-9: 选择路径

第 5 步: 路径离散化

- 点击“下一步”。
- 弦高比默认值即可。
- 点击离散化按钮，离散化窗口会生成离散化点位。
- 点击显示离散化结果，可以查看离散化点位的坐标系方向。

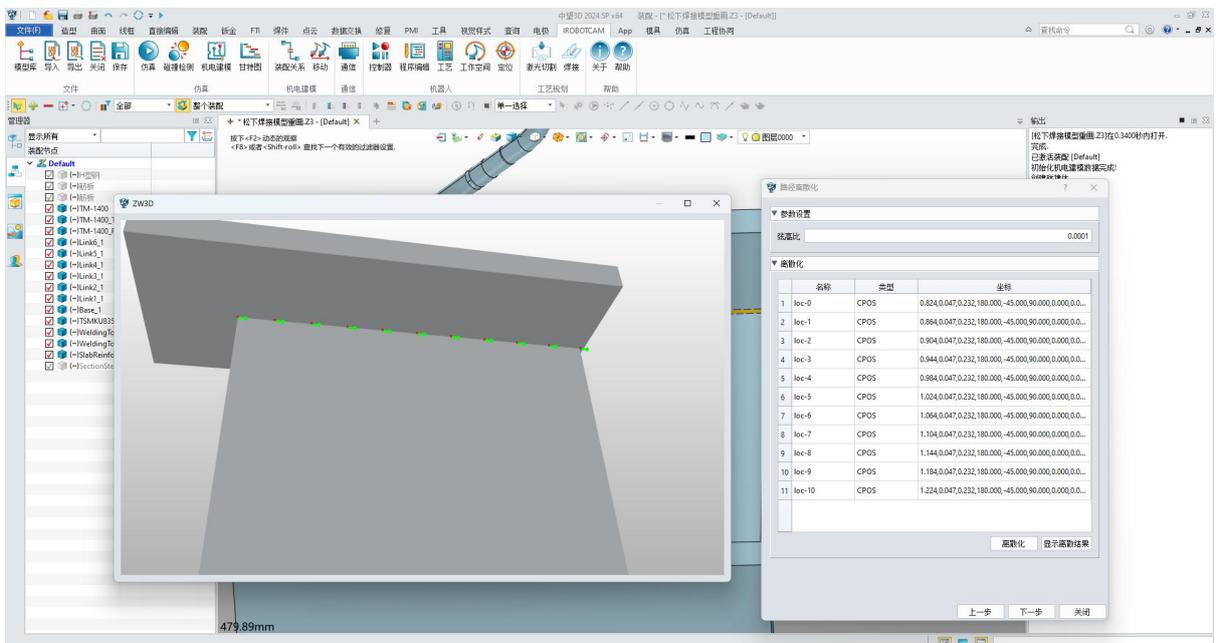


图 15-10: 路径离散化

第 6 步：过渡点排序

- 点击“下一步”。
- 点击“工艺排序计算”按钮。
- 在工艺排序计算图中查看焊接的顺序。

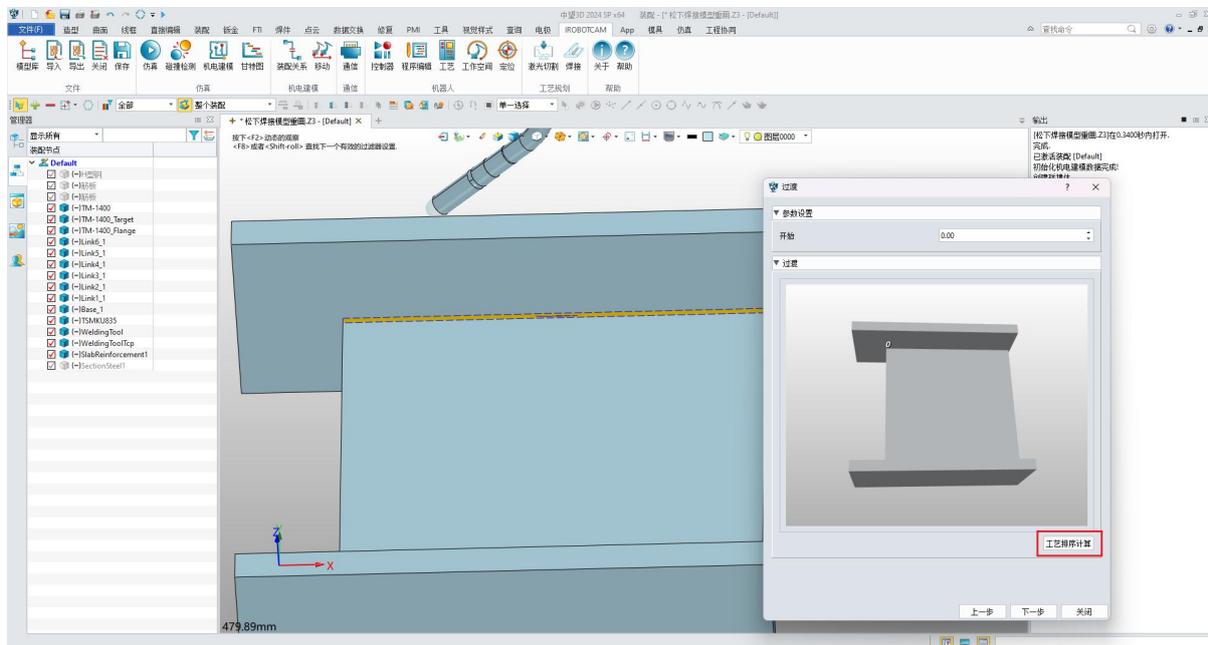


图 15-11 工艺排序计算

第 7 步：路径优化

- 点击“下一步”。
- 在抬枪高度栏，输入抬枪高度值。
- 点击“编辑程序”按钮，可以查看离散化后的抬枪高度坐标位置。
- 点击计算按钮，自动列出可达、奇异和碰撞三个检测表格。
- 最后点击优化路径按钮，在优化路径窗口，依次点击“修改填充数据”、和“路径优化”按钮。（修改填充数据需加载 1 分钟左右）
- 优化路径窗口，点击修改填充数据，红色显示代表碰撞的检测。

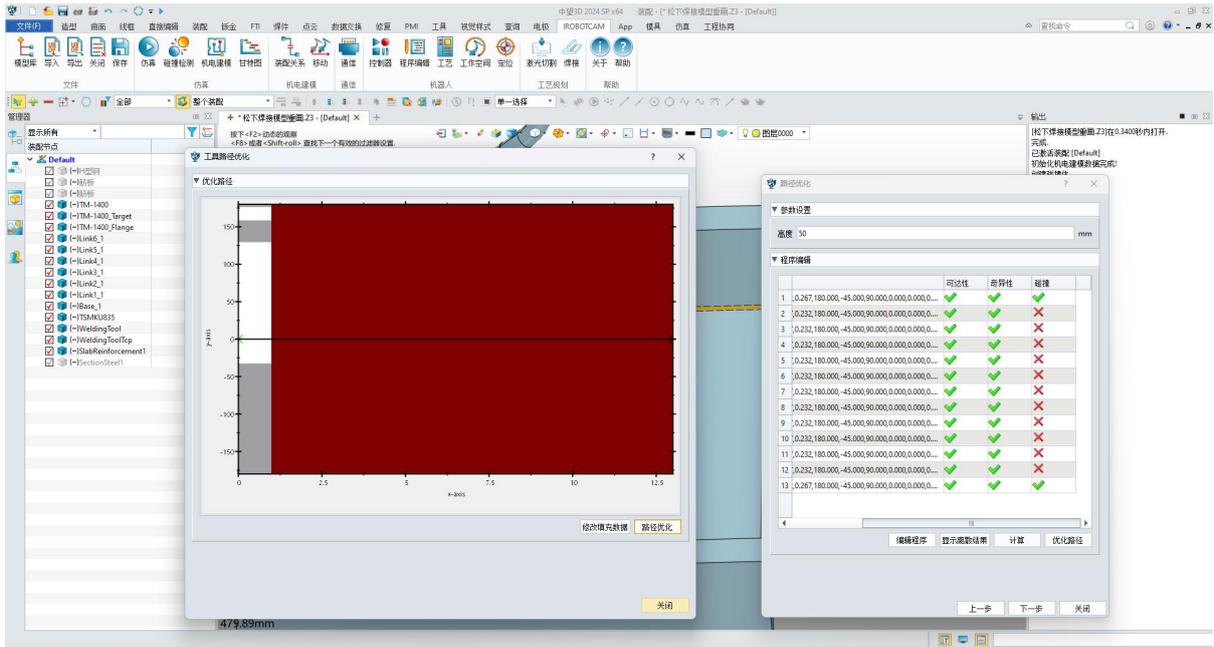


图 15-12: 路径优化

第 8 步: 生成程序

- 点击“下一步”。
- 在生成程序窗口下，速度和加速度设置了默认值。
- 程序管理栏下，添加程序编辑下的 JOB 和 Program 程序。
- 在程序生成栏，点击“生成程序”按钮。
- 点击关闭按钮。

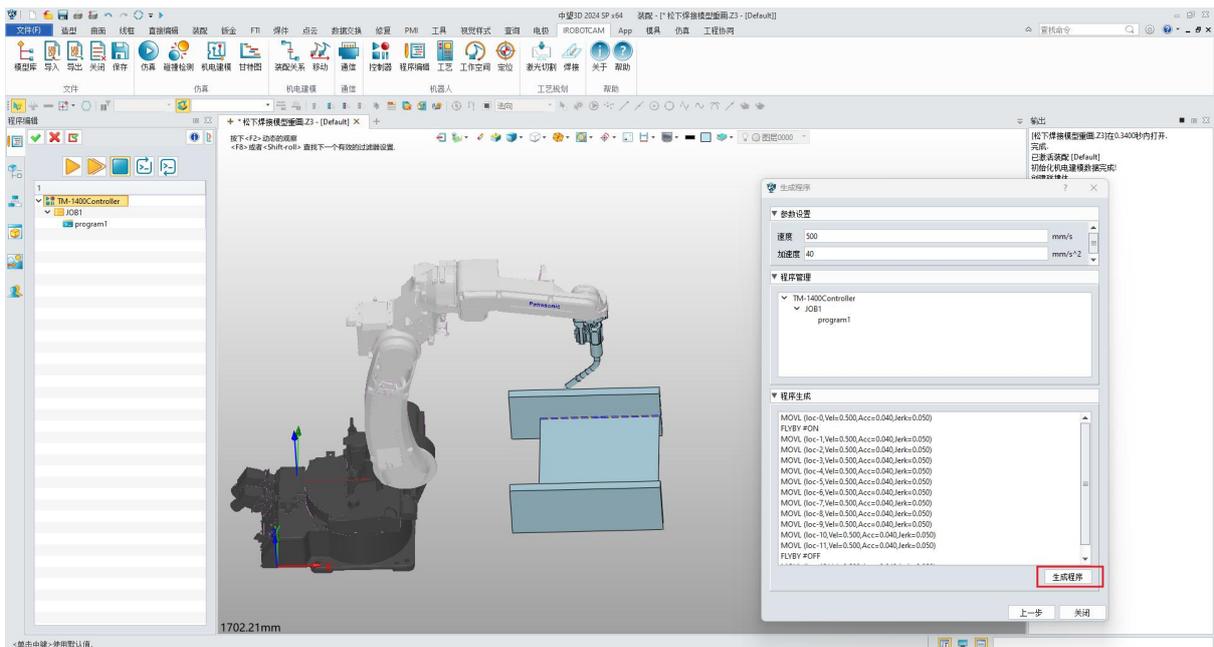


图 15-13: 生成程序

第 9 步: 仿真验证

- 若程序添加了仿真序列，则可以点击仿真按钮进行验证。若无可在程序编辑窗口点击运行，查看激光切割的效果。
- 在焊接过程中，若检测到碰撞，目标物体会以高亮的形式显示出来。

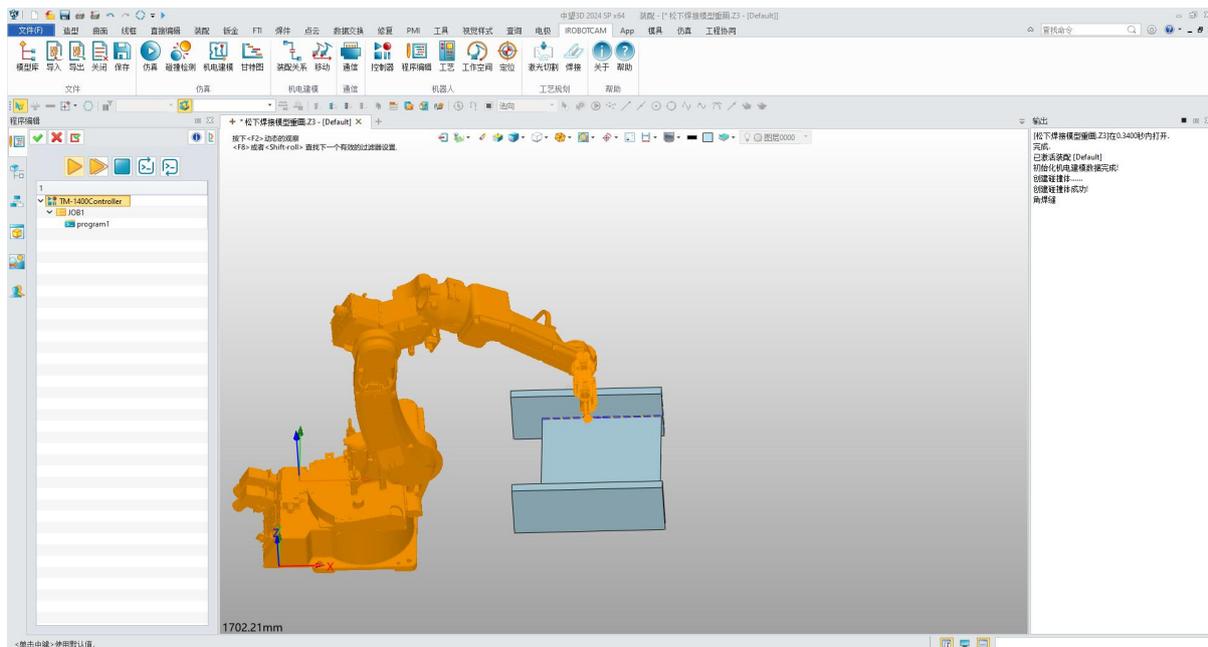


图 15-14: 仿真验证