

巍巍交大 百年书香
www.jiaodapress.com.cn
bookinfo@sjtu.edu.cn



丛书策划 张荣昌
责任编辑 王 清 孟海江
封面设计 唐逸设计

工业机器人技术人才培养系列教材
「互联网+」新形态一体化教材

工业机器人技术人才培养系列教材
“互联网+”新形态一体化教材

工业机器人技术人才培养系列教材

► 工业机器人应用技术

工业机器人现场编程
工业机器人离线编程与仿真
工业机器人编程与调试
工业机器人操作与运维
工业机器人系统智能运维
工业机器人实操与应用技巧
工业机器人工作站技术及应用
嵌入式技术与机器人操作系统应用
协作机器人技术应用
自主移动机器人技术

工业机器人应用技术

主编◎水 琳 云海滨



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



扫描二维码
关注上海交通大学出版社
官方微信

ISBN 978-7-313-31903-6



9 787313 319036 >
定价: 49.80元

工业机器人 应用技术

主编◎水 琳 云海滨



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

本书提供教学资源包

网址: <https://www.sjhtbook.com>



工业机器人技术人才培养系列教材
“互联网+”新形态一体化教材



工业机器人 应用技术

主编◎水 琳 云海滨



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本教材以汽车轮毂生产线为具体场景，系统阐述了工业机器人与 PLC（可编程逻辑控制器）在复杂生产线中的集成应用与通信方式。全书遵循国家专业教学标准，紧密对接 1+X 工业机器人集成应用证书考核要求，同时融入工业机器人系统操作技能大赛的实战经验与岗位操作标准，以项目成果为导向，构建教学内容。全书共分为五个项目，严格按照汽车轮毂生产的真实工艺流程编排，从轮毂毛坯出仓开始，依次进行数控加工、打磨去毛刺、视觉检测与分拣。每个项目均以虚实结合的形式呈现，具象展示项目实施全过程，适合高等院校工业机器人技术、机电一体化技术等相关专业的学生及从事智能制造和工业机器人操作的技术人员使用。

图书在版编目（CIP）数据

工业机器人应用技术 / 水琳，云海滨主编. — 上海：
上海交通大学出版社，2024. 12 — ISBN 978-7-313-31903-6
-6

I. TP242.2

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024HK4715 号

工业机器人应用技术

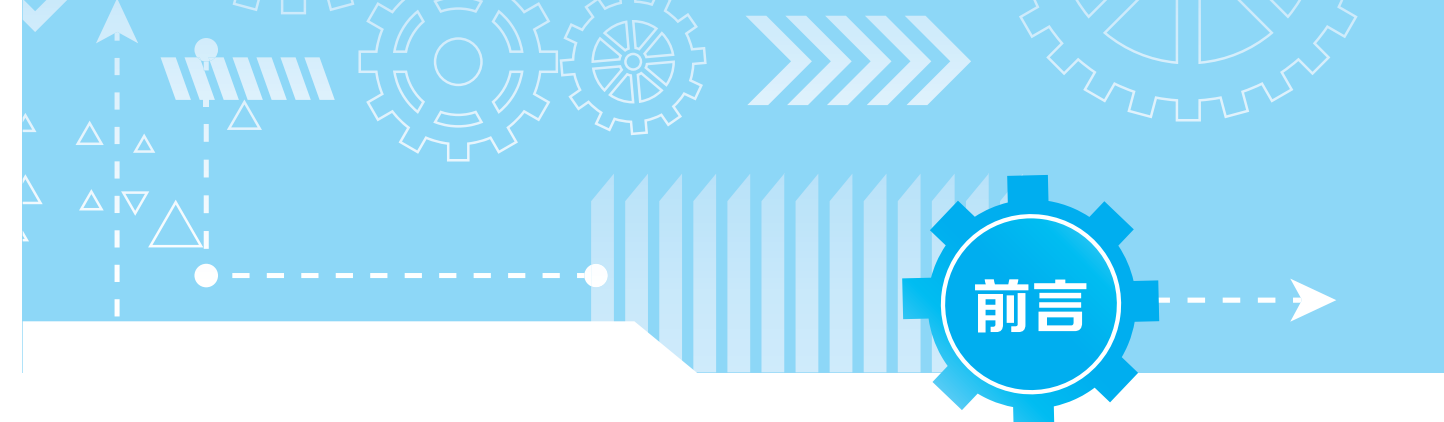
GONGYE JIQIREN YINGYONG JISHU

主 编：水 琳 云海滨	地 址：上海市番禺路 951 号
出版发行：上海交通大学出版社	电 话：021-6407 1208
邮政编码：200030	
印 制：北京荣玉印刷有限公司	经 销：全国新华书店
开 本：787 mm × 1092 mm 1/16	印 张：15
字 数：356 千字	
版 次：2024 年 12 月第 1 版	印 次：2024 年 12 月第 1 次印刷
书 号：ISBN 978-7-313-31903-6	
定 价：49.80 元	

版权所有 侵权必究

告读者：如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话：010-6020 6144



前言

随着智能制造技术的飞速发展，工业机器人在现代工业生产中的应用日益广泛，成为推动产业升级的重要力量。为深入贯彻党的二十大关于职业教育的要求，积极响应党对职业教育的政策导向，助力职业教育落实培养多样化人才、传承技术技能、促进就业创业的重要职责，编者深入分析《国家职业教育改革实施方案》（简称职教 20 条）提出的深化产教融合、校企合作，推动形成产教融合、校企合作、工学结合的办学模式，结合教育部办公厅印发的《关于加快推进现代职业教育体系建设改革重点任务的通知》中 11 项现代职业教育体系建设改革重点任务，以及加强实践教学等具体举措，并结合多年教学经验，从教学视角分析如何适应产业的技术能力提升，力求在教材内容、教学方法上实现创新与突破，基于此，编写了任务驱动、工学结合的《工业机器人应用技术》。

本教材落实立德树人根本任务，贯彻《高等学校课程思政建设指导纲要》精神，将专业知识与思政教育有机结合，推动价值引领、知识传授和能力培养紧密结合。

本教材强调理论与实践相结合，注重培养读者的创新思维和解决问题的能力。同时，本教材紧密对接国家专业教学标准，结合工业机器人系统操作技能大赛标准及 1+X 工业机器人集成应用证书考核要求，确保教学内容的权威性和前瞻性，并围绕职业教育的发展方向设置内容，旨在培养具备工业机器人集成应用技能的高素质技术技能人才。

本教材以汽车轮毂生产线为背景，深入调研真实生产工艺流程，结合实验操作平台，优化选取了五个紧密相连的项目，真实再现工业机器人在汽车轮毂生产线中的集成应用全过程，使读者在学习过程中直观感受工业机器人的应用场景，增强学习的实用性和针对性，并且本教材注重方案分析与实践环节，让读者通过分析任务接收新的知识点与工作方法，在实施过程中掌握技能、强化能力，在验收过程中理解标准的含义。本教材通过理论讲解、操作演示、源程序解读等，重点培养读者的工业机器人系统集成能力，并通过拓展 RobotStudio 软件应用基础内容，从多层次全方位提升读者解决实际问题的能力，适合高等院校工业机器人技术、机电一体化技术、电气控制技术、智能制造技术专业学生，以及相关领域技术人员学习使用。

通过学习本教材，读者可全面掌握工业机器人与 PLC 等控制设备在生产线中的集成应用方法，重温机器人编程与 PLC 编程技术要点，深入理解通信协议、程序设计与调试，为将来从事工业机器人编程、工业机器人系统集成、智能生产线应用等相关工作奠定坚实的基础。

在此，我们衷心感谢在教材编写过程中给予支持与帮助的全國机器人和智能制造行业产教融合共同体理事单位及 1+X 工业机器人考核委员会。由于编者水平有限，书中存在的不足之处，恳请广大读者批评指正，共同推动工业机器人应用技术的发展与普及。

此外，本书作者还为广大一线教师提供了服务于本书的教学资源库，有需要者可发邮件至 2393867076@qq.com，联系教学助手领取。

编者
2024 年 8 月

目录



绪论

1

1. 总控单元 3
2. 执行单元 3
3. 加工单元 3
4. 仓储、打磨、分拣单元 3
5. 检测单元 4



1

项目

了解工业机器人

任务 1.1 工业机器人执行单元虚拟搭建及调试 6

1. 工业机器人常见种类 9
2. 工业机器人离线编程与虚拟仿真的概念 10
3. PQArt 软件介绍 11
4. PQArt 软件三维球工具介绍 18
5. PQArt 软件仿真事件介绍 19

任务 1.2 工业机器人执行单元系统程序设计 36

1. 滑台驱动电机结构及工作原理 38
2. 交流伺服电动机的控制方法 39
3. 交流伺服电动机的特性参数 40
4. 伺服驱动器的原理 40

项目 **2**

工业机器人智能仓储取料搬运作业

任务 2.1 汽车轮毂智能仓储工作站虚拟搭建及调试	64
1. 智能仓储的应用与发展	66
2. PQArt 仓储工作站组成	67
3. 工业机器人常用末端工具	67
4. PQArt 软件自定义事件	69
任务 2.2 汽车轮毂智能仓储系统程序设计	80
1. ProfiNet 通信结构	82
2. ProfiNet 通信应用	87

项目 **3**

工业机器人数控加工作业

任务 3.1 汽车轮毂数控加工工作站虚拟搭建及调试	104
1. 智能化数控加工技术的应用与发展	105
2. PQArt 数控加工工作站组成	107
任务 3.2 汽车轮毂数控加工作业系统程序设计	126
1. 数控系统及通信模块基础	129
2. 数控系统控制方式	131
3. 数控内置 PLC	131
4. PLC 与单元远程 I/O 模块的组态	135

项目 **4**

工业机器人打磨分拣作业

任务 4.1 汽车轮毂打磨分拣工作站虚拟搭建及调试 148

1. 机器人打磨工作站的组成与常见打磨工具 149

2. PQArt 打磨工作站组成 150

3. PQArt 软件轨迹生成方法 151

任务 4.2 汽车轮毂打磨去毛刺作业程序设计 175

1. 套接字 (Socket) 介绍 177

2. Socket 通信指令介绍 178

3. 回传结果介绍 179

4. PLC 与远程 I/O 模块的组态 180

项目 **5**

工业机器人视觉检测作业

任务 5.1 汽车轮毂视觉检测工作站虚拟搭建及调试 197

1. 视觉检测技术的应用与发展 198

2. PQArt 软件视觉检测工作站组成 199

任务 5.2 汽车轮毂视觉检测分拣作业程序设计 209

1. 视觉检测系统原理 211

2. 视觉检测系统组成 212

3. 相机镜头介绍 213

4. 视觉相机介绍 213

5. 视觉控制器介绍 213

6. 欧姆龙视觉检测系统特点 213

7. 机器人与视觉检测系统的通信方式 214

绪 论

汽车轮毂是汽车轮胎内侧用于支撑轮胎的圆柱形金属部件。通俗地说，就是车轮中心安装车轴的部位，是连接制动盘、轮盘和半轴的重要零部件，主要承担着承载重量、为轮胎和车轴提供固定位置，以及支撑轮胎转动的作用，如图 0-0-1 所示。



图 0-0-1 汽车轮毂位置与造型

轮毂的材质有多种，常见的有钢轮毂和铝合金轮毂。钢轮毂最主要的优点就是制造工艺简单，成本相对较低，而且抗金属疲劳的能力较强；缺点是重量较大，美观度不高，惯性阻力大，散热性也比较差，而且非常容易生锈。因此，铝合金轮毂逐渐成为市场主力。合金轮毂具有较轻的重量，惯性阻力小，制作精度高，在高速转动时的变形小、惯性阻力小，有利于提高汽车的直线行驶性能，减轻轮胎滚动阻力，从而减少油耗。合金材质的导热性能又是钢的三倍左右，散热性好，对于车辆的制动系、轮胎和制动系统的热衰减都能起到一定的作用。市场上的原厂车的合金轮毂都以铝合金为主。

汽车轮毂的加工过程较为复杂，需要经过多道工序。根据轮毂的造型与要求的不同，轮毂生产工序也会略有不同。根据实际调研，轮毂加工工艺大致有原材料铸造、数控加工、动平衡检测、轮毂打孔、轮毂打磨等工序，结合生产实际，还需要增加智能仓储等环节，如图 0-0-2 所示。目前我国在轮毂生产行业已经实现了全自动化智能生产，每一个环节都有工业机器人的身影，且工艺流程稳定成熟，这也是本书定位于轮毂加工产业的原因。



图 0-0-2 汽车轮毂加工工艺流程

本教材精选了以上真实汽车轮毂生产过程中重复性高，劳动强度大的环节，能够充分体现工业机器人工作站集成应用特点，集中了机器人系统集成技术核心的5个项目内容，采用了符合实训要求且服务于1+X工业机器人集成应用证书考核内容和大赛需求的实训平台作为案例载体，尽可能还原轮毂从仓储搬运、加工、检测、分拣、打磨等环节的内容。根据任务内容组合对应书中平台的执行单元、仓储单元、打磨单元、分拣单元、加工单元、总控单元等，各个单元需要利用工业机器人完成上下料、取放轮毂、翻面等操作，如图0-0-3所示。



图 0-0-3 教学处理后的任务背景

在各项目任务实施前，需要规划每个单元之间的通信逻辑关系，在此基础上根据具体任务要求依次实施。所谓通信逻辑关系，是指对各个单元的网络连接、数据发送方式及协议类型进行规划定义，这就涉及工业网络相关知识。工业网络是指应用在工业生产环境中的一种全数字化、双向、多站的通信系统，主要包括现场总线、工业以太网、无线网络等通信系统。平台各单元之间的通信，通过通信模块与接口来实现，所依托平台涉及的通信接口类型如下。

1. 总控单元

总控单元的两台 PLC (PLC_1、PLC_2) 分别通过网线连接工业以太网口与交换机, 以 S7TCP 协议完成两台 PLC 之间的通信。总控单元的功能按钮、急停按钮、指示灯 (包括三色安全指示灯), 均由 PLC 的板载 I/O 端口直接控制。PLC 还通过 ProfiNet 协议与 PC (个人计算机) 中的 WinCC 进行通信, 用以在 PC 中搭建 SCADA (数据采集与监视控制) 系统, 对 PLC 中的变量及信号进行监控。

2. 执行单元

执行单元主要涉及三类通信网口。

1) ProfiNet 通信网口

执行单元中的远程 I/O 模块主要为总控单元扩展 I/O 点位, 模块网口 (PNIN 和 PNOOUT) 直接或间接与总控单元 PLC 的 ProfiNet 通信网口相连, 通过该通信网口与总控单元完成数据交互。

2) TCP/IP 通信网口

执行单元的工业机器人通过 TCP/IP 通信网口与检测单元进行通信。

3) DeviceNet 通信网口

执行单元的机器人除标准 I/O 板外, 还以 DeviceNet 协议扩展了 I/O 模块, 以增加机器人的输入 / 输出点位。机器人与执行单元 PLC 之间通过 DeviceNet I/O 端口通信。

3. 加工单元

加工单元主要涉及两类通信网口。

1) ProfiNet 通信网口

加工单元中的远程 I/O 模块主要为总控单元扩展 I/O 点位, 模块网口 (PNIN 和 PNOOUT) 直接或间接与总控单元 PLC 的 ProfiNet 通信网口相连。

2) OPC UA 通信网口

CNC 网口为 OPC UA 通信网口, 控制系统主要通过该 OPC UA 通信网口与 PC 实现通信, 以实现 SCADA 系统对数控加工运行状态的监控。

4. 仓储、打磨、分拣单元

与执行单元、加工单元的 ProfiNet 通信网口相同, 总控单元 PLC 通过 ProfiNet 通信协议, 以总线型、环型或树型等拓扑结构与仓储、打磨、分拣单元通信, 各单元均配置远程 I/O 模块以接收和发出通信信号。

5. 检测单元

检测单元通过 TCP/IP 通信网口完成与机器人之间的通信，实现机器人对视觉检测的控制以及检测结果的回传。

所依托实验平台的通信核心是利用工业以太网将设备层、控制层、管理层的控制结构扁平化，实现一网到底，做到多类型设备间的信息兼容和各系统间的数据交换，单元间的控制逻辑如图 0-0-4 所示。

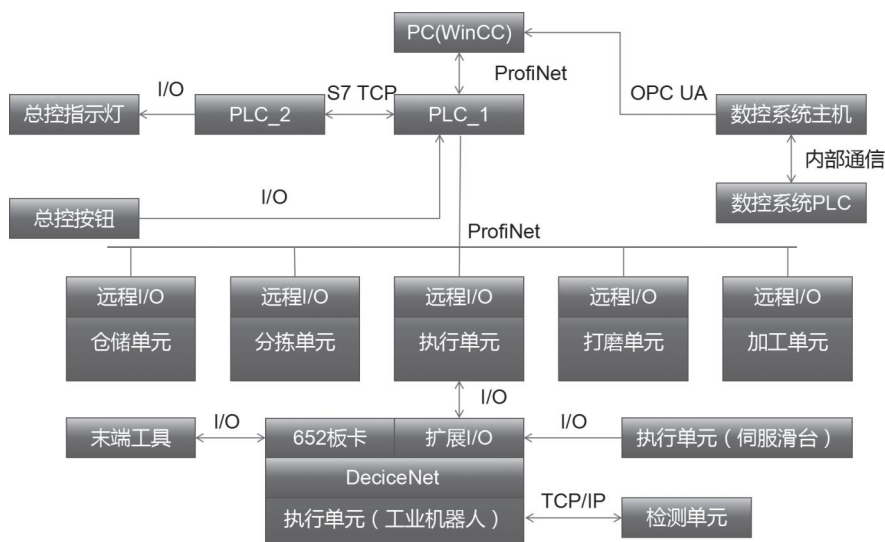


图 0-0-4 单元通信框架

总控单元 PLC₁ 通过 ProfiNet 协议，以远程 I/O 的方式扩展自身的 I/O 端口，从而与仓储单元、加工单元、打磨单元、分拣单元、执行单元之间进行信号交互，以自身的 I/O 端口与总控单元的按钮连接。PLC₁ 还通过 ProfiNet 协议与 PC 进行通信，用以在 PC 中搭建 SCADA 系统，对 PLC 中的变量及信号进行监控。

总控单元 PLC₂ 通过自身的 I/O 端口，直接与总控单元的指示灯连接。

PLC₁ 与 PLC₂ 之间通过 S7TCP 协议通信，实现按钮与指示灯的统一控制。

PC 需要对数控加工的实际情况做信息采集，因此 PC 与数控系统的主机需要进行通信，通信协议为 OPC UA。另外，数控系统 PLC 通过与加工单元远程 I/O 连接实现与总控 PLC 通信，从而实现对数控机床外设（防护门、夹具等）的控制及外设状态反馈。

执行单元通过远程 I/O 端口与伺服驱动器进行连接。

机器人通过 DeviceNet 协议，以标准板卡的 I/O 端口，实现对末端工具的控制。机器人通过 TCP/IP 协议，实现与视觉控制器的数据交互，完成与检测单元的通信。

了解工业机器人



学习目标

知识目标

- (1) 了解工业机器人离线编程与虚拟仿真的概念。
- (2) 了解 PQArt 软件基本操作方法。
- (3) 了解 PQArt 软件工作站搭建方法。
- (4) 了解滑台驱动电机的结构及原理。
- (5) 了解滑台驱动电机的运动工艺参数。
- (6) 了解 DeviceNet 通信结构。
- (7) 了解工业机器人和 PLC 之间的通信方式及编程方法。

技能目标

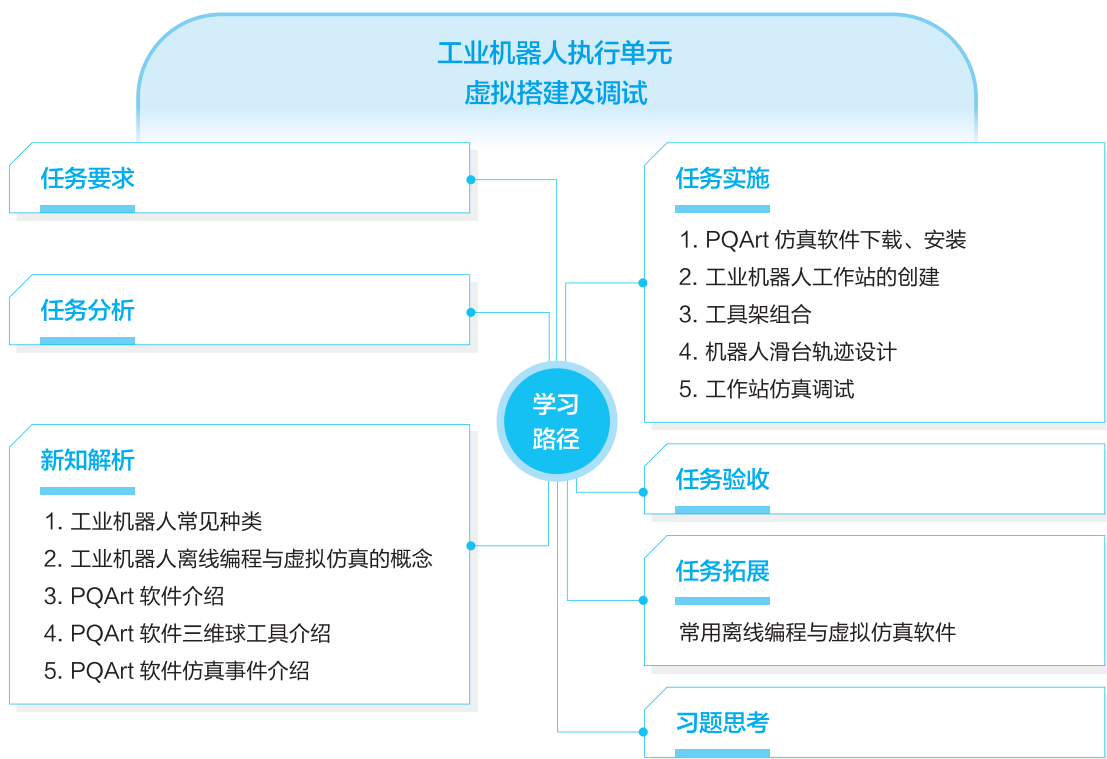
- (1) 能够使用 PQArt 软件进行机器人工作站搭建。
- (2) 能够按照任务要求利用 PQArt 软件进行执行单元动作仿真。
- (3) 能够对基于 S7_1200PLC 进行硬件组态。
- (4) 能够利用轴控制面板对伺服轴进行调试。
- (5) 能够配置 DeviceNet 远程 I/O 模块。
- (6) 能够定义机器人及 PLC 的信号。
- (7) 能够在进行机器人滑台移动及工具快换动作控制。

素质目标

- (1) 养成勤思考、爱分析的思维方式。
- (2) 养成严格遵守“7S 规范”的操作习惯。
- (3) 树立一丝不苟的工匠精神理念。

任务 1.1

工业机器人执行单元虚拟搭建及调试



任务要求

在汽车轮毂的智能生产过程中，根据生产需求，产线中会有众多设备服务生产，因此需要工业机器人频繁配合工作站中其他设备完成既定操作任务。工作站是指以工业机器人为核心的，能够完成某些指定任务的工作区域，如图 1-1-1 所示。本书介绍的 4 个工作站，均需要工业机器人完成取放毛坯、上下料及搬运、检测等操作，所以工业机器人工作范围将远远超出机器人本体工作范围，因此在工业机器人基座安装滑台（又称导轨）等作为机器人的第七轴尤为重要，这样可以扩大其操作空间，更好地配合工作站完成生产任务。本任务作为全书第一个任务，将率先完成工业机器人工作站虚拟搭建及调试。

具体要求如下。

- (1) 下载、安装“工业机器人集成应用”1+X 证书考核仿真软件 PQArt（原 RobotArt）。
- (2) 导入工业机器人“智能制造单元系统集成应用平台”虚拟工作站。
- (3) 机器人从初始位置移动至滑台 -400 mm 的位置。

(4) 机器人从工具架安装夹爪工具后返回初始位置并将工具再放回原位。

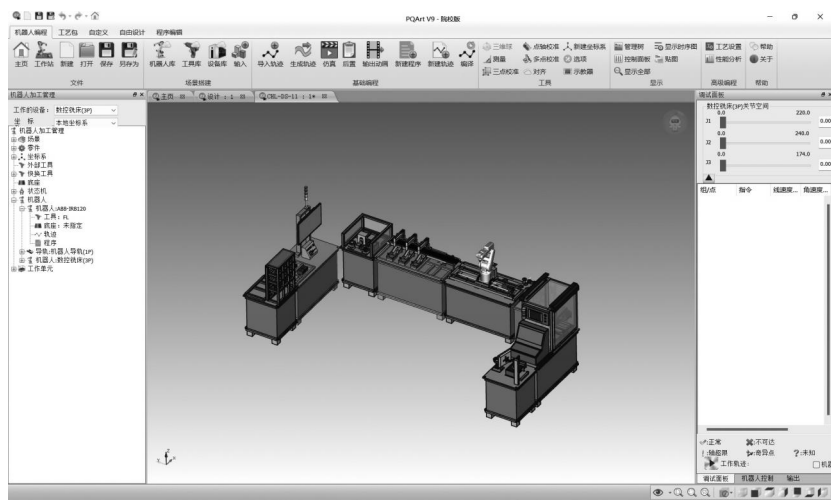


图 1-1-1 工作站默认状态



任务分析

机器人程序编写过程中，在完成某一指定动作要求时，需要先分析机器人路径轨迹，优化轨迹并编制程序。在仿真软件中亦如此。因此在实施此任务时需要理解机器人与滑台的移动位置及必要的信息交互和动作逻辑，以此确定动作的触发信号，达到连续运动执行操作要求的目的。

本任务中机器人需要从初始位置移动至导轨 -400 mm 的位置并转向工具架，安装好工具后返回初始位置，再返回工具架前卸载工具后最终返回初始位置。因此在过程中，导轨在 0 mm 和 -400 mm 之间往返移动两次，机器人也一样，但机器人在第一次到达 -400 mm 后通过安装过渡点进行夹爪工具安装，第二次将反向操作，卸载工具。任务动作流程如图 1-1-2 所示。

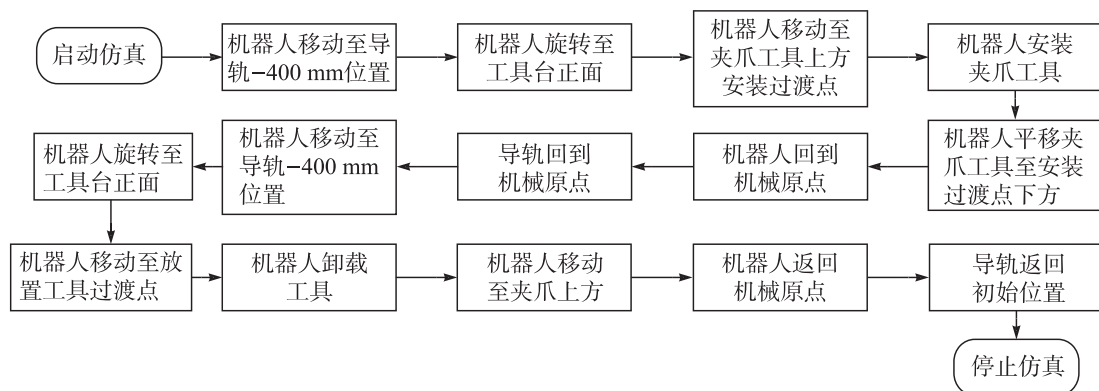


图 1-1-2 动作流程

在任务的实施过程中，完成工作站场景文件的定义与工作站的搭建后实现工业机器人与伺服滑台的联动时，需要频繁进行机器人与滑台间的信号传输，才能实现机器人移位。任务流程中的仿真事件如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 任务流程中的仿真事件汇总

内容	仿真事件类型	事件名称	功能
工业机器人与伺服滑台事件 1	发送事件	[ABB-IRB120] 发送: 0	告知伺服滑台，工业机器人已经运动到位
	等待事件	等待 [ABB-IRB120] 发送: 0	用于伺服滑台等待工业机器人发送信号，触发运动到工具单元处（滑台 -400 mm）
工业机器人与伺服滑台事件 2	发送事件	[伺服滑台] 发送: 0	用于发送伺服滑台运动到工具单元处的到位信号
	等待事件	等待 [伺服滑台] 发送: 0	工业机器人等待伺服滑台运动到工具单元处的到位信号，触发机器人转向工具架的动作
工业机器人与伺服滑台事件 3	发送事件	[ABB-IRB120] 发送: 1	用于工业机器人告知并触发伺服滑台返回初始位置
	等待事件	等待 [ABB-IRB120] 发送: 1	伺服滑台等待工业机器人发送信号，触发运动到初始位置
工业机器人与伺服滑台事件 4	发送事件	[伺服滑台] 发送: 1	用于发送伺服滑台运动到初始位置的到位信号
	等待事件	等待 [伺服滑台] 发送: 1	工业机器人等待伺服滑台运动到初始位置的到位信号
工业机器人与伺服滑台事件 5	发送事件	[伺服滑台] 发送: 2	用于发送伺服滑台运动到工具单元处的到位信号
	等待事件	等待 [伺服滑台] 发送: 2	工业机器人等待伺服滑台运动到工具单元处的到位信号，触发机器人转向工具架的动作
工业机器人与伺服滑台事件 6	发送事件	[ABB-IRB120] 发送: 2	用于工业机器人告知并触发伺服滑台返回初始位置
	等待事件	等待 [ABB-IRB120] 发送: 2	伺服滑台等待工业机器人发送信号，触发运动到初始位置



新知解析

1. 工业机器人常见种类

工业机器人是广泛用于工业领域的多关节机械手或多自由度的机器装置，具有一定的自动性，可依靠自身的动力能源和控制能力实现各种工业加工制造功能。工业机器人被广泛应用于电子、物流、化工等各个工业领域之中。它可以接受人类指挥，也可以按照预先编排的程序运行，新型工业机器人还可以利用人工智能技术制订优化方案。

工业机器人的种类有多种，分类方式也不尽相同，根据机器人的应用范围，可以将机器人分为通用机器人、焊接机器人、喷涂机器人、装配机器人、搬运机器人、码垛机器人等，所有工作的完成都具有高效性、持久性、快速性和准确性。它可以协助或取代人类完成一些重复性、危险性，或者人类无法完成的工作，如图 1-1-3 所示。

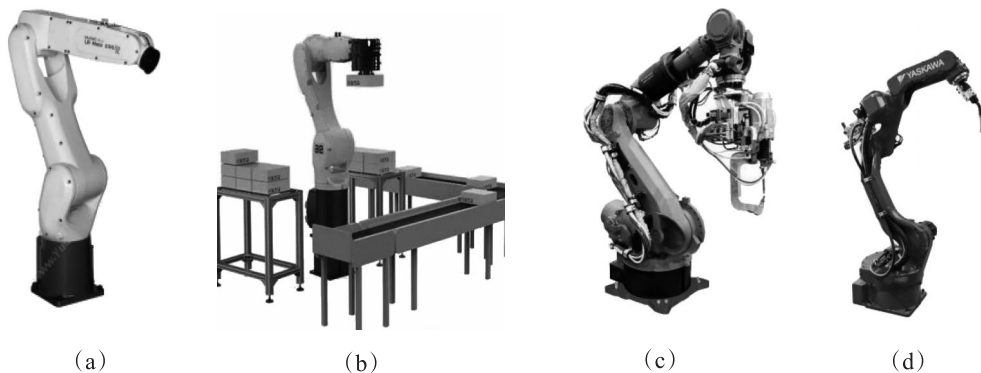


图 1-1-3 工业机器人的分类

(1) 通用机器人：最为常见的工业机器人，动作灵活，工作范围较大，通用性较强，可用于码垛、装配、打磨、焊接等多种工艺，如图 1-1-3 (a) 所示。

(2) 搬运机器人：即被搬运零件无严格的运动轨迹要求，只要求始点和终点位置准确，可应用于机床上下料、工件堆垛等，如图 1-1-3 (b) 所示。

(3) 喷涂机器人：多用于喷漆生产线，重复位置精度要求不高，如图 1-1-3 (c) 所示。

(4) 焊接机器人：目前使用最多的一类机器人，它又可分为点焊和弧焊两类，如图 1-1-3 (d) 所示。

工业机器人主要品牌：ABB、FANUC、GSK、Yaskawa、SIASON、Kawasaki、KUKA、MOTOMAN、STAUBLI、STEP 等。本书所依托工业机器人为 ABB 机器人。

根据机器人的关节个数及关节的构造分类，常见的有六轴工业机器人、非球型机器人、SCARA（水平多关节）机器人等三种。

(1) 六轴工业机器人：六轴工业机器人是由六个串联轴组成的，具有六个关节轴的机器人，如图 1-1-4 所示。所谓的串联，即一轴关联二轴，二轴关联三轴，它们之间是互相影响的。本书主要介绍的机器人为六轴机器人。

根据应用需求，在六轴基础上添加滑台即可成为七轴机器人，第七轴就是基座下面添加的滑台，如图 1-1-5 所示。

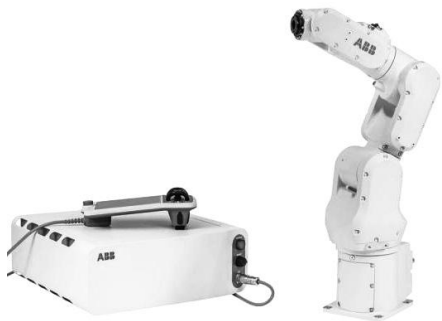


图 1-1-4 六轴工业机器人

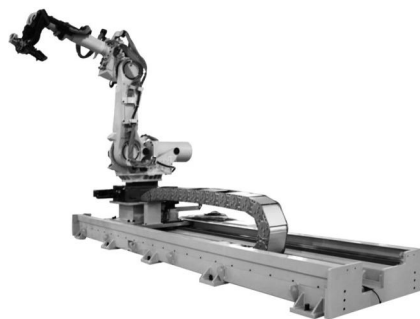


图 1-1-5 七轴工业机器人

(2) 非球型机器人：与通用六轴机器人相比，非球型机器人四、五、六轴的旋转轴不相交，如图 1-1-6 所示。

(3) SCARA 机器人：SCARA 是 selective compliance assembly robot arm 的缩写，意思是一种应用于装配作业的机器人手臂。它有 3 个旋转关节，且轴线相互平行，在平面内进行定位和定向。这类机器人的结构轻便、响应快，比一般关节式机器人响应速度快数倍，适用于平面定位，垂直方向进行装配的作业，如图 1-1-7 所示。



图 1-1-6 非球型机器人



图 1-1-7 SCARA 机器人

2. 工业机器人离线编程与虚拟仿真的概念

离线编程是指在计算机上使用专门的软件进行机器人的程序编写，而不需要直接操作机器人本身。这种编程方式可以大大提高工作效率，因为程序员可以在没有物理机器人的情况下，通过模拟环境进行程序的编写和测试。离线编程软件通常提供丰富的工具和功能，如轨迹规划、碰撞检测等，以确保机器人在实际运行中的安全性和效率。

虚拟仿真则是指通过计算机软件模拟真实的工作环境和机器人操作，以便在虚拟环境中测试机器人的性能和可行性。这种模拟包括机器人的运动轨迹、与周围环境的交互、机器人的各种操作等。通过虚拟仿真，可以在实际部署前发现并解决潜在的问题，从而减少实际运行中的错误和故障。

工业机器人离线编程与虚拟仿真是利用计算机图形学的成果，在专门的软件中创建机器人及其工作环境的几何模型，再通过软件对图形进行控制和操作，在不使用机器人的情况下进行编程，并仿真运行与验证，最后生成机器人控制系统。

在国家重大科技产业发展战略背景下，国产虚拟仿真软件与实时控制系统正得到越来越高的重视。国内从 20 世纪 80 年代后期起，许多单位就已经开始从事机器人仿真技术的研究工作，当前国内的虚拟仿真软件与相关技术可以说已经迎来了爆发式发展阶段，为推动我国机器人研发做出了重要贡献。

离线编程与虚拟仿真技术的优势主要体现在减少机器人停机时间、提高编程效率与安全性、扩大适用范围、优化复杂任务处理及便于程序修改和优化等方面。

(1) 减少机器人停机时间。离线编程允许在非生产时间对机器人进行编程，这样当机器人需要进行下一个任务编程时，它仍然可以在生产线上工作，从而减少了机器人的停机时间。

(2) 提高编程效率与安全性。离线编程允许编程者在安全的环境中进行操作，避免了在危险或复杂的工作环境中直接操作机器人，提高了工作的安全性。同时，通过构建三维虚拟环境，可以更快速、更准确地模拟和测试机器人的运动轨迹，提高了编程效率。

(3) 扩大适用范围。离线编程系统支持多种品牌和型号的机器人，使得编程者可以对各种机器人进行编程，扩大了应用范围。此外，这些系统还支持使用高级计算机编程语言，使处理复杂任务变得更加容易。

(4) 优化复杂任务处理。离线编程软件如 PQArt、RobotStudio、RoboMaster 等，能够基于 CAD 模型中的几何特征自动生成轨迹，并进行轨迹优化，减少了人工干预，提高了编程的自动化程度。

(5) 便于程序修改和优化。通过虚拟仿真技术，可以在软件中直观地观察和调整机器人的工作过程，及时发现并解决超程、碰撞等问题。此外，离线编程软件支持一键优化功能，便于及时修改和优化机器人程序。

较为成熟且常用的国内软件主要有 PQArt、InteRobot；国外软件主要有 RoboMaster、RobotStudio、ROBOGUIDE、KUKA Sim Pro 等。按通用软件与厂家专用软件划分：通用软件有 PQArt、RoboMaster、RoboDK 等；厂家专用软件有 ABB 公司的 RobotStudio、发那科公司的 ROBOGUIDE、库卡公司的 KUKA Sim Pro、安川公司的 MotoSimEG-VRC 等。

3. PQArt 软件介绍

PQArt 是我国拥有自主知识产权的工业机器人离线编程软件。PQArt 是工业软件中核心产品之一，其功能包括 3D 平台、几何拓扑、特征驱动、自适应求解算法、开放后置、碰撞检测、代码仿真等，覆盖了机器人集成应用完整的生命周期，包括方案设计、设备选型、集成调试及产品改型，其界面如图 1-1-8 所示。

PQArt 软件界面主要分八大部分：标题栏、菜单栏（机器人编程、工艺包、自定义）、绘图区、机器人加工管理面板、机器人控制面板、调试面板、输出面板和状态栏。



图 1-1-8 PQArt 软件界面

- (1) 标题栏。显示软件名称、版本号和当前文件名。
- (2) 菜单栏。涵盖了 PQArt 的基本功能，如场景搭建、轨迹生成、仿真、后置、自定义等，是最常用的功能栏。
- (3) 绘图区。用于场景搭建、轨迹的添加和编辑等。
- (4) 机器人加工管理面板。由六个模块组成，包括场景、零件、工具坐标系、外部工具、快换工具以及机器人等。
- (5) 机器人控制面板。控制机器人六个轴和关节的运动，调整其姿态，显示坐标信息，读取机器人的关节值，以及使机器人返回机械零点等。
- (6) 调试面板。方便查看并调整机器人姿态、编辑轨迹点特征。
- (7) 输出面板。显示机器人执行的动作、指令、事件和轨迹点的状态。
- (8) 状态栏。包括功能提示、模型绘制样式、视向等功能。

PQArt 软件自带工作站库、机器人库、工具库、设备库等，工作站、机器人、工具、设备充当着工作环境、机器人、工具、外接设备的角色，是离线编程与虚拟仿真的重要元素，既可用于仿真演示，也可以为软件的自动轨迹规划功能提供图形信息支持。其图形质量的好坏直接决定了离线程序的质量，所以工具模型在机器人工作站中的地位是非常重要的。

PQArt 软件工作站库内有智造、物流、智能制造综合实训平台、工业机器人实训工作台等五个应用场景（见图 1-1-9），以及机器人库和工具库（见图 1-1-10）、设备库等。



图 1-1-9 工作站



分类：

全部

法兰工具

快换工具

外部工具

更多选项（应用管理 等）

综合

使用量

在结果中搜索

筛选

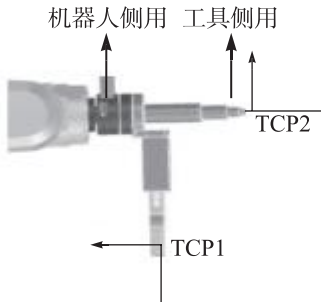
切割器  激光切割枪 Laser Tool 1119次使用 插入	主轴  电主轴 21933次使用 下载约1S	夹具  快换工具盘AQC-300H-T 313次使用 下载约1S	夹具  快换工具盘AQC-06-T(安装尺寸31.5) 4143次使用 插入	其他  砂轮 879次使用 下载约1S
液压油工具  HRS-RP离子喷枪-带安装架 413次使用	夹具  快换工具盘AQC-500-T 1271次使用	喷嘴  带磨屑枪B Tool B 14503次使用	夹具  安装板工具盘AQC-12-T 299次使用	夹具  快换主轴AQC-06-M 5222次使用

PQArt 中工具可分为三类，如表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 工具类别

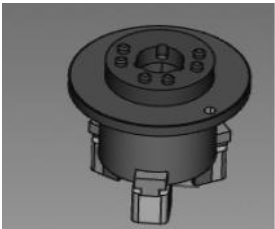
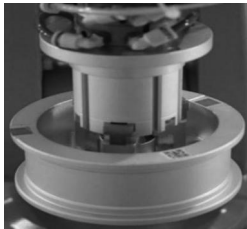
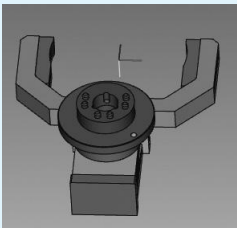
13

续表

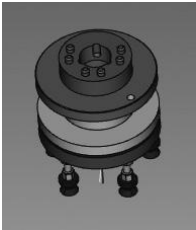
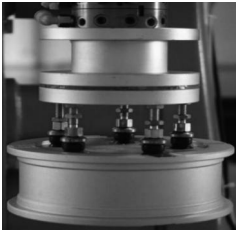
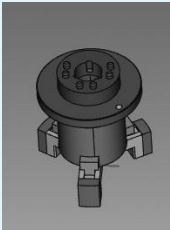
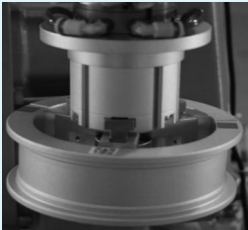
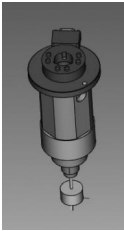
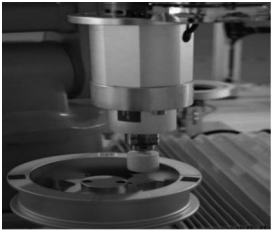
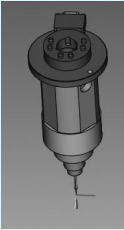
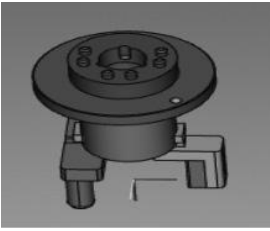
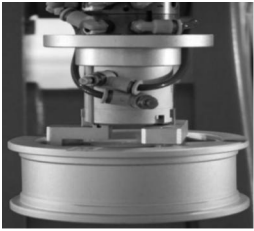
工具名称	说明	图示
快换工具	由机器人侧用和工具侧用组成。机器人侧用指的是与机器人法兰盘连接的工具，工具侧用指的是与法兰工具连接的工具。当机器人需要完成两种及以上的任务时，通过快换工具可以快速更换工具，而不用从法兰盘上拆下工具，省时省力。 注意：自定义机器人侧用工具时，需要按照法兰工具的方式来定义	
	安装方式： 工具侧用从“工具库”中导入，导入后需要执行安装操作（通过工具右键菜单的“安装”指令），才能安装到机器人侧用工具上	
外部工具	独立于机器人之外的工具，如打磨机、砂轮等。有时机器人需要手持工件配合使用外部工具	
	安装方式： 外部工具从“工具库”中导入，导入后即可独立于机器人之外，配合机器人进行零件的加工	

快换工具有轮毂夹爪、外圈夹爪、吸盘、内圈夹爪、侧面打磨工具、端面打磨工具、轮辐夹爪等，工具的名称、仿真图形及功能实现效果如表 1-1-3 所示。

表 1-1-3 工具介绍

序号	名称	仿真图形	功能实现效果
1	轮毂夹爪		
2	外圈夹爪		

续表

序号	名称	仿真图形	功能实现效果
3	吸盘		
4	内圈夹爪		
5	侧面打磨工具		
6	端面打磨工具		
7	轮辐夹爪		

本书所用“智能制造单元系统集成应用平台”包含有八个工作单元，如图 1-1-12 所示，每个单元作用如表 1-1-4 所示。

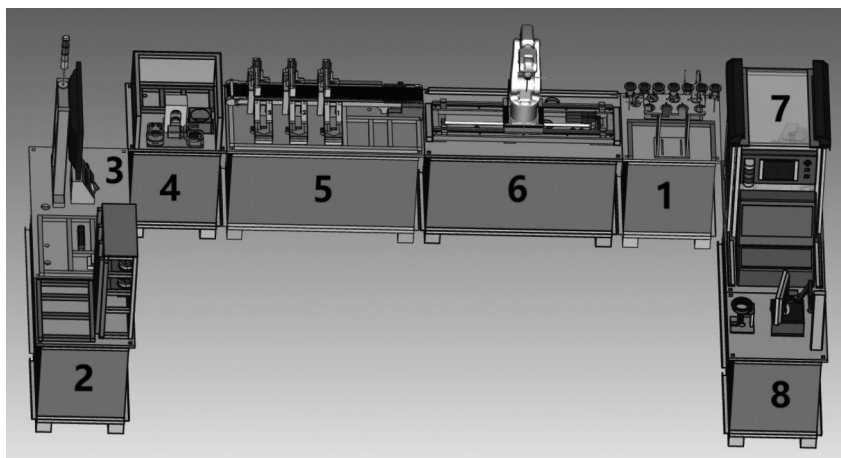
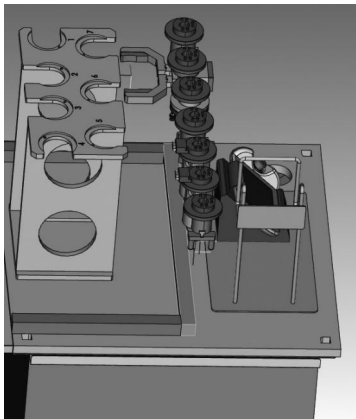
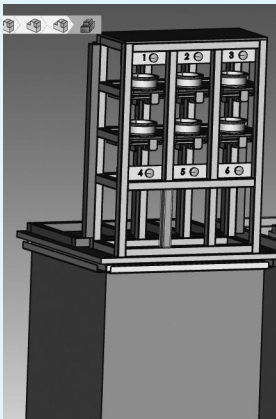
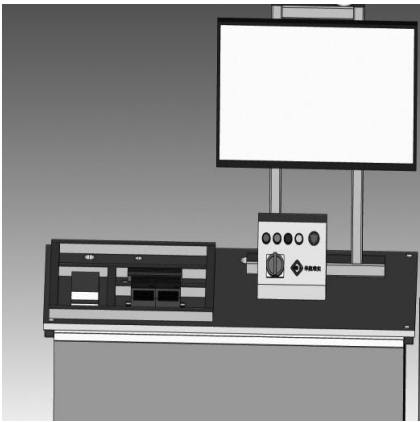
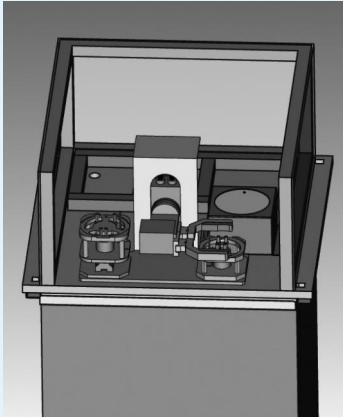
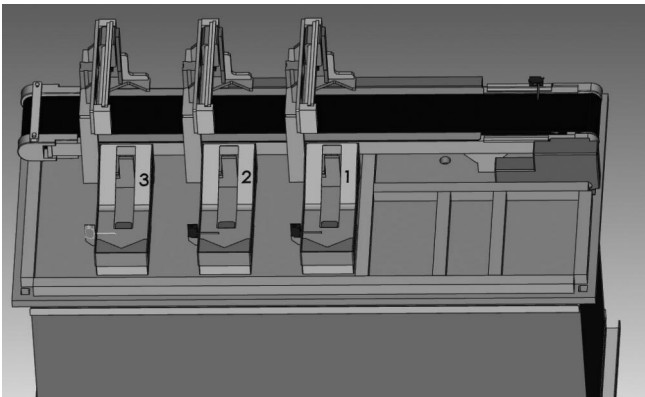


图 1-1-12 “智能制造单元系统集成应用平台”工作站

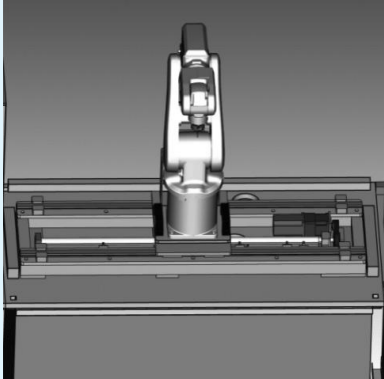
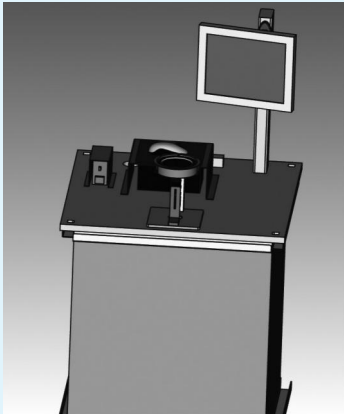
表 1-1-4 “智能制造单元系统集成应用平台”的八个工作单元介绍

序号	图片示例	工作单元介绍
1		工具单元：工具单元是执行单元的附属单元，用于存放不同功用的工具，由工作台、工具架、工具、示教器支架等组件构成
2		仓储单元：仓储单元用于存放零件，由工作台、立体仓库、远程 I/O 模块等组件构成

续表

序号	图片示例	工作单元介绍
3		总控单元：总控单元是其余各单元程序执行和动作流程的总控制端，由工作台、控制模块、操作面板、电源模块、气源模块、显示终端、移动终端等组件构成
4		打磨单元：打磨单元是完成对零件表面打磨、吹屑过程的设备，由工作台、打磨工位、旋转工位、翻转工装、吹屑工位、防护罩、远程 I/O 模块等组件构成
5		分拣单元：分拣单元可根据不同的程序实现针对不同零件的分拣动作，由工作台、传送带、分拣机构、分拣工位、定位装置、传感器远程 I/O 模块等组件构成

续表

序号	图片示例	工作单元介绍
6		执行单元：执行单元是产品在各个单元间转换和定制加工的执行终端，由工作台、工业机器人、平移滑台、快换模块法兰端、PLC 控制器、远程 I/O 模块等组件构成
7		加工单元：加工单元可对零件表面指定位置进行铣削加工，由工作台、数控机床、刀库、数控系统、远程 I/O 模块等组件构成
8		检测单元：检测单元可根据不同需求完成对零件的检测、识别，由工作台、视觉控制器、光源、结果显示器等组件构成

4. PQArt 软件三维球工具介绍

三维球是 PQArt 软件中用于移动物件的强大而灵活的三维空间定位工具，它可以通过平移、旋转和其他复杂的三维空间变换，精确定位任何一个三维物体，三维球默认状态下的结构如图 1-1-13 所示。

三维球由中心点、平移轴和旋转轴组成。

(1) 中心点：主要用来进行点到点的移动。

(2) 平移轴：主要用来进行物体的轴向平移。

(3) 旋转轴：主要用来进行设备旋转。

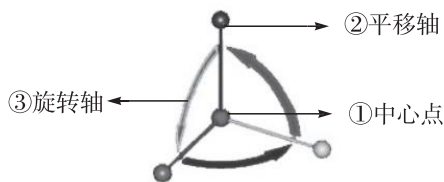


图 1-1-13 三维球结构

5. PQArt 软件仿真事件介绍

工作站的工艺流程中，除了工业机器人的运动轨迹外，还包括工具、零件、状态机和滑台的状态和轨迹的变化。在 PQArt 中实现工艺流程的虚拟仿真，必须在机器人相应轨迹点上添加仿真事件，实现流程中工业机器人与周边设备的互动事件，从而实现整个工艺流程的仿真。



任务实施

1. PQArt 仿真软件下载、安装

1) 软件下载

PQArt 软件对计算机系统配置有一定要求，具体要求如表 1-1-5 所示。

表 1-1-5 计算机系统配置

配置	要求
CPU	Intel i5 或同类性能以上 CPU
内存	8 G 以上内存
显卡	1 G 以上 NVIDIA 独立显卡
显示器	23 寸以上显示器
操作系统	Win7/Win8/Win10 (32 位、64 位)
硬盘	至少空闲 5 GB

准备好相应配置的计算机后可以进行软件下载。方法：从官网下载软件安装包，下载界面如图 1-1-14 所示。

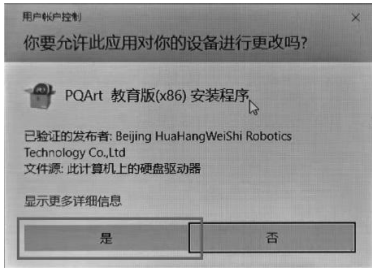


图 1-1-14 下载网页界面

2) 软件安装

PQArt 软件安装步骤如表 1-1-6 所示。

表 1-1-6 PQArt 软件安装步骤

序号	图例	操作步骤
1		双击安装包内的可执行文件“PQArt_Edu_X86_Setup.exe”，单击“是”按钮，进行软件安装。 有些操作系统在安装软件时会自动弹出“用户账户控制”，此时单击“是”图标即可开始
2		单击“快速安装”按钮，等待完成安装。 注意: 只有勾选了“同意 PQArt 的用户许可协议”选框后才能安装软件。 安装完成后双击桌面“PQArt”图标即可登录
3		登录选择“其他快速登录方式”，再输入手机号码，通过获取验证码等登录软件
4		软件登录后的界面

2. 工业机器人工作站的创建

打开软件，在“文件”中选择“工作站”，单击“智能制造单元系统集成应用平台”，单击“插入”即获得默认界面，可通过三维球将各个单元移动至如图 1-1-15 所示的位置，工作站中共有 8 个工作单元（见表 1-1-4），本任务中的工作站只需要工具单元与执行单

元，任务具体操作步骤如下。

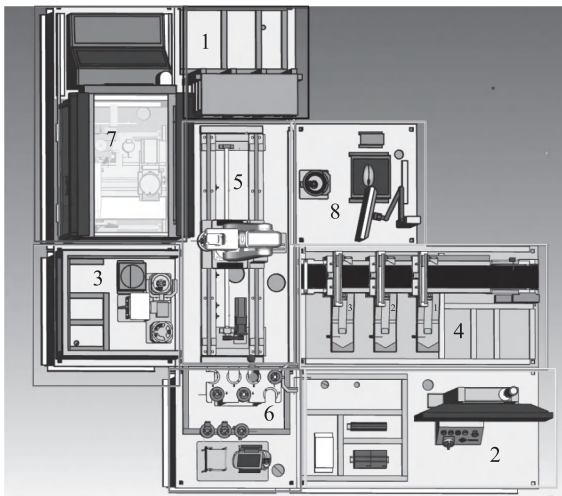


图 1-1-15 “智能制造单元系统集成应用平台”工作站

(1) 鼠标移动至工具单元任意一个位置后单击，从绘图区左上角选中工具单元整体，如图 1-1-16 所示。

(2) 单击三维球，三维球按钮红色为 X^① 轴，绿色为 Y 轴，蓝色为 Z 轴，如图 1-1-17 (a) 所示。当三维球出现后按空格键，将所需移动的单元与三维球进行锁定，此时三维球呈现白色，如图 1-1-17 (b) 所示。

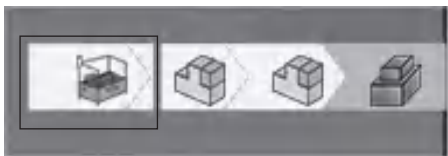
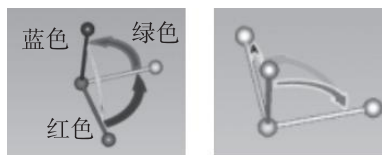


图 1-1-16 选择区域



(a)



(b)

图 1-1-17 三维球

(3) 右击选择三维球中心点，单击“到点”按钮，选择指定位置，如图 1-1-18 所示。

(4) 按下键盘空格键将三维球变回原色，将工具单元沿 Z 轴旋转 -90° ，如图 1-1-19 所示。

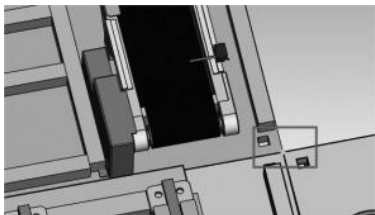


图 1-1-18 三维球需要选择的指定位置

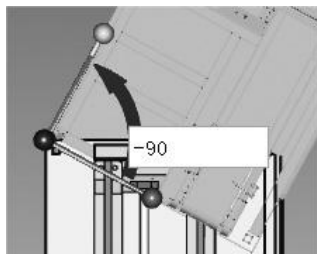


图 1-1-19 工具单元沿 Z 轴旋转 -90°

① 为了和软件对应，坐标轴使用大写正体。

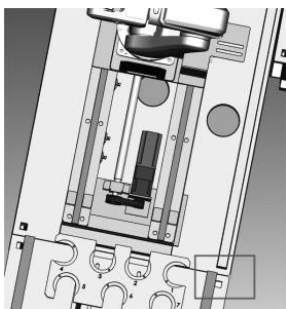


图 1-1-20 执行单元左后方桌角

(5) 右击三维球中心点，单击“到点”按钮，选择执行单元左后方桌角，如图 1-1-20 所示。

(6) 将工具单元和执行单元完全贴合，不出现缝隙。

(7) 按以上操作步骤可将“智能制造单元系统集成应用平台”所有单元按照图 1-1-15 所示位置进行移动，完成工作站搭建任务。

3. 工具架组合

根据任务要求，工作站七个工具按需放置于工具架指定位置，本任务中具体摆放位置如表 1-1-7 所示，效果如图 1-1-21 所示。

表 1-1-7 工具放置位置

工具名称	刀具架位置编号
外圈夹爪	1
轮毂夹爪	2
侧面打磨工具	3
内圈夹爪	4
轮辐夹爪	5
端面打磨工具	6
吸盘	7

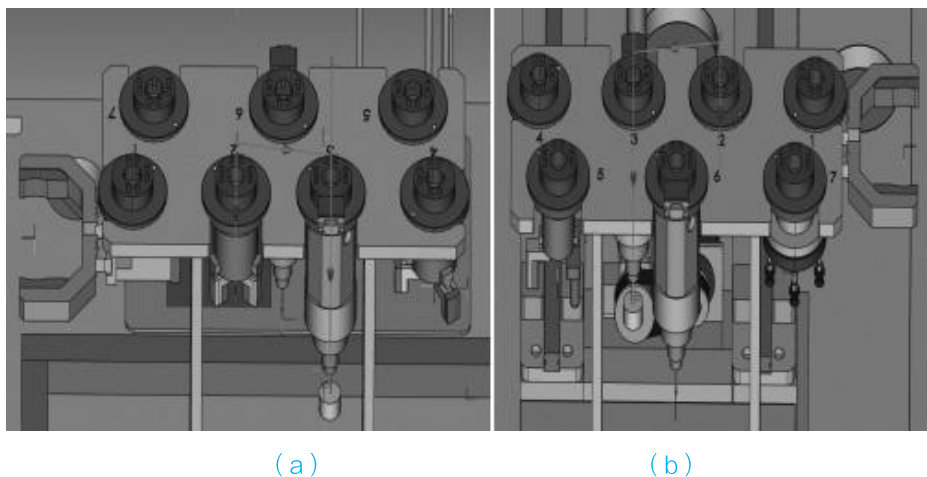
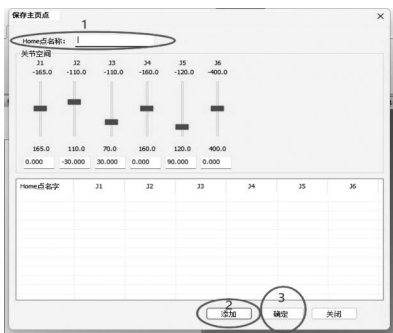
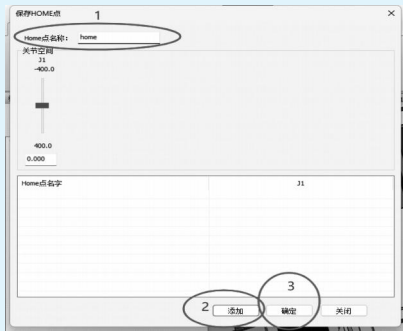
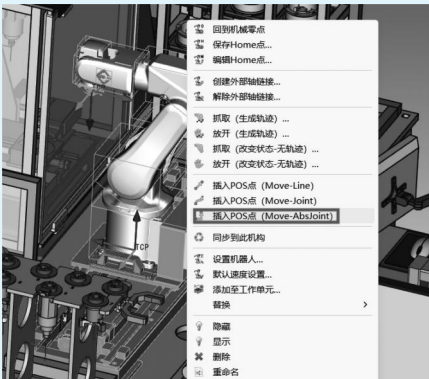


图 1-1-21 工具摆放效果

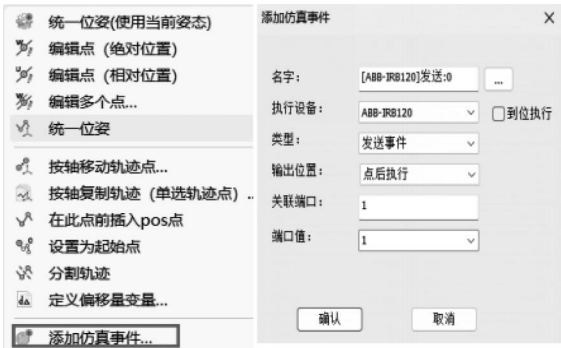
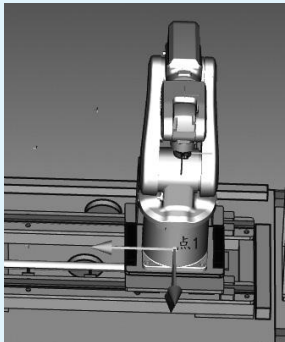
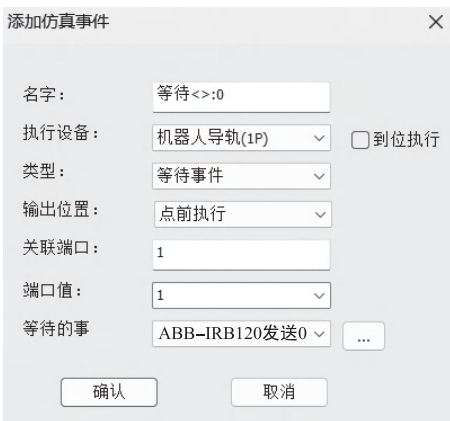
4. 机器人滑台轨迹设计

机器人滑台轨迹设计步骤如表 1-1-8 所示。

表 1-1-8 机器人滑台轨迹设计步骤

序号	图例	操作内容
1		校准并添加机器人原点： 在工作站中，右击机器人，选择“home 点名称”选项，名称为 home，参数为 (0, -30, 30, 0, 90, 0)，单击“添加”和“确定”按钮
2		添加导轨原点： 右击导轨，名称为 home，单击“添加”和“确定”按钮
3		将原点添加为过渡点 1： 右击机器人，选择“插入 POS 点 (Move-AbsJoint)”选项，此时左侧“机器人加工管理”栏中“机器人”→“轨迹”将会出现所添加的点，右侧调试面板中也能够看到所添加的点
4		添加导轨过渡点 1： 右击导轨，选择“插入 POS 点 (Move-AbsJoint)”选项

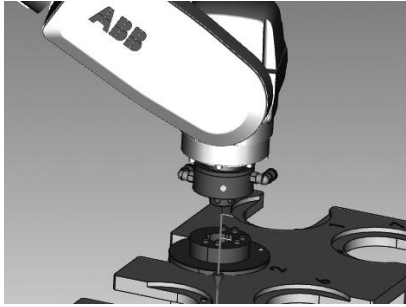
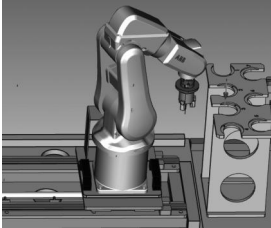
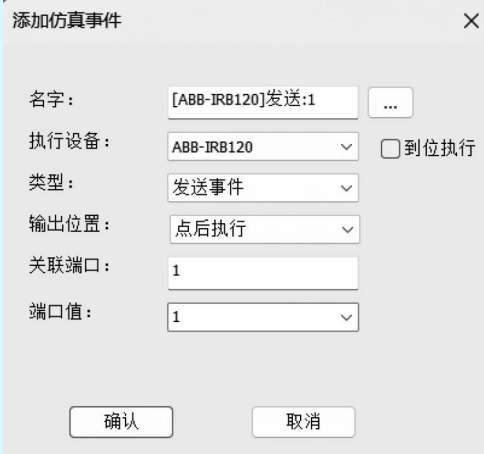
续表

序号	图例	操作内容
5		添加机器人发送信号的仿真事件： 单击机器人后，右侧将出现机器人关机空间及过渡点信息，此时右击“调试面板”中机器人过渡点，选择“添加仿真事件”选项，参数设置如下。 名字：[ABB-IRB120] 发送 :0； 执行设备：ABB-IRB120； 类型：发送事件； 输出位置：点后执行； 关联端口：1； 端口值：1。 即机器人在初始位置时向导轨发送信号 0
6		单击导轨，在“调试面板”→“机器人导轨关节空间”将滑块移动至 -400 位置，或在输入框中输入 -400，按下 Enter 确定。此时机器人将移动至导轨 -400 mm 处。 在此位置分别添加导轨过渡点 2 和机器人过渡点 2
7		建立导轨移动触发信号： 在导轨过渡点 2 处，添加仿真事件，参数设置如下。 名字：等待 <>:0； 执行设备：机器人导轨（1P）； 类型：等待事件； 输出位置：点前执行； 关联端口：1； 端口值：1； 等待的事：ABB-IRB120 发送 0。 即当导轨接收机器人发送的 0 时，导轨将移动至导轨 -400 mm 处

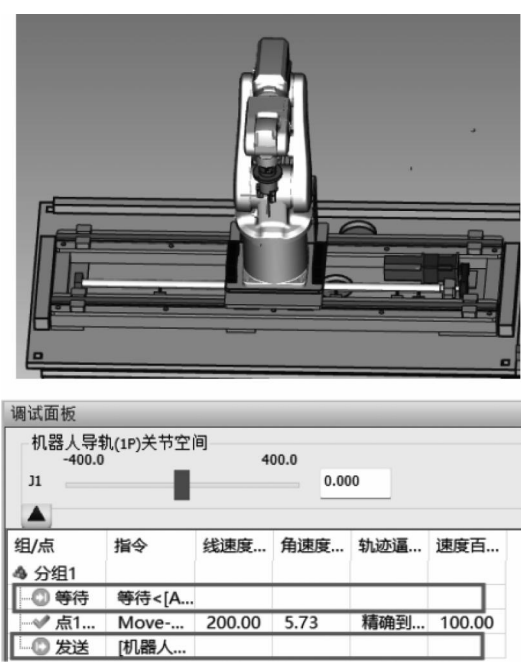
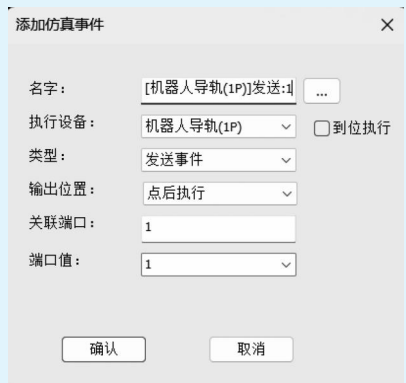
续表

序号	图例	操作内容
8		导轨发出到位信号： 用相同的方式给导轨过渡点 2 添加仿真事件，参数设置如下。 名字：[机器人导轨（1P）] 发送 :0； 执行设备：机器人导轨（1P）； 类型：发送事件； 输出位置：点后执行； 关联端口：1； 端口值：1。 即当机器人移动至 -400 mm 位置后，导轨向机器人发送信号 0
9		机器人接收导轨到位信号： 在机器人过渡点 2 上添加仿真事件，参数设置如下。 名字：等待 <[机器人导轨（1P）]> 发送 :0； 执行设备：ABB-IRB120； 类型：等待事件； 输出位置：点前执行； 关联端口：1； 端口值：1； 等待的事：[机器人导轨（1P）] 发送 0。 即当机器人到达 -400 mm 位置时，导轨向机器人发送信号 0，机器人接收信号 0，确保位置后可执行下一动作
10		机器人转向工具架正前方： 当机器人在 -400 mm 位置时，单击机器人，从调试面板中将机器人 1 轴（J1）参数改为 90°，此时机器人将改变姿态。 在此处添加机器人过渡点 3

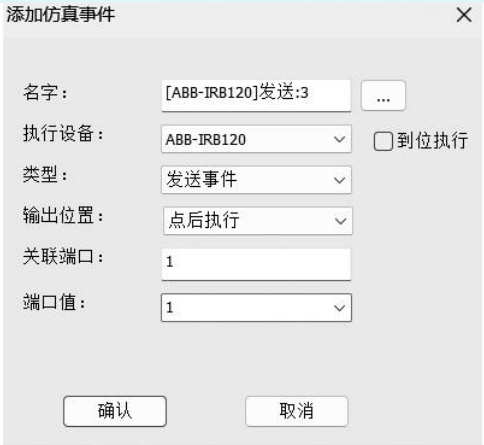
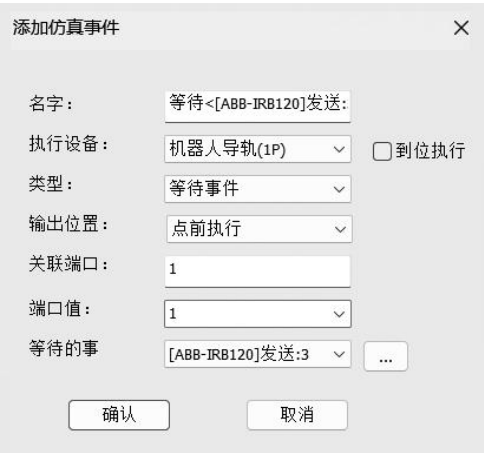
续表

序号	图例	操作内容
11		机器人末端移动至安装过渡点： 用“三维球”把机器人末端移动至轮毂夹爪工具正上方。 将机器人末端移动至夹爪工具正上方，并调整机器人姿态，将法兰盘对准夹爪工具正上方。（此过渡点并非必需的，机器人可以从原点出发，通过出入刀点的方式直接实现工具拿取）
12	 	机器人安装轮毂夹爪： 右击夹爪工具，选择“安装（生成轨迹）”选项，在对话框中输入入刀偏移量 20 mm 和出刀偏移量 20 mm。 即完成安装工具步骤
13		机器人取出来爪工具： 利用三维球将工具水平移出工具架。 此点添加为机器人过渡点 4。 根据工具加缺口即固定卡盘位置，工具的安全移出方向可不同
14		机器人返回初始位置： 右击机器人，单击“返回机械原点”按钮，并添加过渡点 5、添加仿真事件，参数设置如下。 名字：[ABB-IRB120] 发送:1； 执行设备：ABB-IRB120； 类型：发送事件； 输出位置：点后执行； 关联端口：1； 端口值：1。 即机器人安装工具返回机械原点后给导轨发出信号 2 使其动作

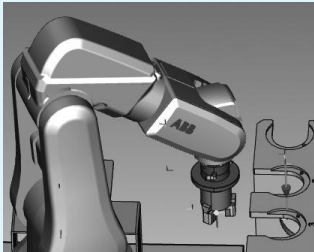
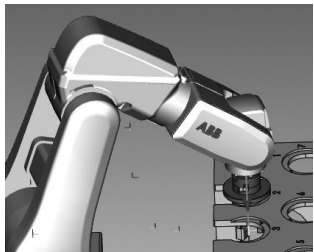
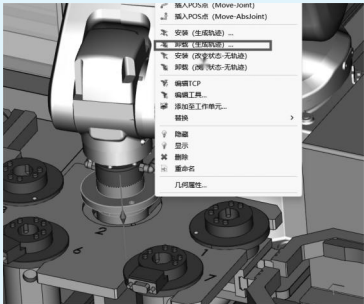
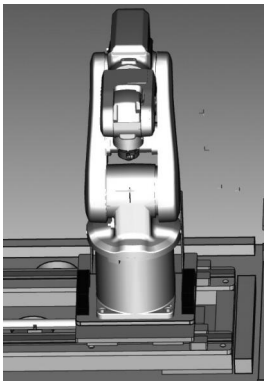
续表

序号	图例	操作内容
15		机器人移动至初始位置： 右击导轨，单击“返回机械原点”按钮，将此点添加为过渡点，并给其添加仿真事件，参数设置如下。 名字：等待 <ABB-IRB120>:1>0； 执行设备：机器人导轨； 类型：等待事件； 输出位置：点前执行； 关联端口：1； 端口值：1； 等待的事：<ABB-IRB120> 发送：1。 即当导轨接收机器人安装工具且返回机械原点的信号后，将其移动至初始位置，结果如图所示
16		导轨发出到位信号： 用相同的方式给导轨过渡点添加仿真事件，参数设置如下。 名字：[机器人导轨（1P）] 发送 :1； 执行设备：机器人导轨（1P）； 类型：发送事件； 输出位置：点后执行； 关联端口：1； 端口值：1。 即当机器人返回初始位置后，导轨向机器人发送信号 1

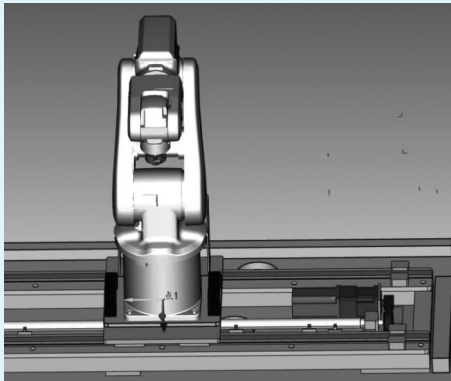
续表

序号	图例	操作内容
17		机器人接收导轨到位信号： 添加机器人渡点，并添加仿真事件，参数设置如下。 名字：等待<[ABB-IRB120]发送：1； 执行设备：机器人导轨（1P）； 类型：等待事件； 输出位置：点前执行； 关联端口：1； 端口值：1； 等待的事：[ABB-IRB120]发送：2。 即当机器人返回初始位置后，导轨向机器人发送到位信号，机器人可执行下一动作
18		继续按照相同的方式，将机器人移动至工具架位置，在导轨-400 mm处，添加过渡点，并添加仿真事件，参数设置如下。 名字：[ABB-IRB120]发送：3； 执行设备：ABB-IRB120； 类型：发送事件； 输出位置：点后执行； 关联端口：1； 端口值：1。 即当机器人到工具架处后给导轨发送到位信号
19		机器人移动至-400 mm处： 导轨添加过渡点，并添加仿真事件，参数设置如下。 名字：等待<ABB-IRB120>发送：3； 执行设备：机器人导轨（1P）； 类型：等待事件； 输出位置：点前执行； 关联端口：1； 端口值：1； 等待的事：<ABB-IRB120>发送：3。 即当导轨接收到机器人信号后，将机器人移动至-400 mm处

续表

序号	图例	操作内容
20		当机器人到达 -400 mm 后，机器人移动至工具放置过渡点： 利用“三维球”把机器人法兰盘上的夹爪工具移动至工具架空位置（原位置 2 号），向 Z 轴正方向移动 10 mm，再向 Y 轴方向平移出工具架，添加过渡点 7，结果如图所示
21		机器人到达放置工具点： 用“三维球”把工具移动至 2 号工具架位置，向 Z 轴正方向移动 10 mm，再添加过渡点 8，结果如图所示
22		机器人卸载工具： 机器人到达工具放置点后，鼠标选择工具，单击“卸载（生成轨迹）”按钮，自动生成轨迹和过渡点
23		机器人返回初始位置，添加过渡点，并向导轨发送信号： 右击机器人，单击“返回机械原点”按钮，添加过渡点 9。 过渡点 9 添加仿真事件，参数设置如下。 名字：机器人 [ABB-IRB120] 发送 :3； 执行设备：ABB-IRB120； 类型：发送事件； 输出位置：点后执行； 关联端口：1； 端口值：1。 即当机器人卸载工具后返回机械原点，并向导轨发出移动信号，结果如图所示

续表

序号	图例	操作内容
24		导轨返回初始位置: 机器人返回初始位置后, 给导轨添加过渡点, 并添加仿真事件, 参数设置如下。 名字: 等待 <ABB-IRB120>:3; 执行设备: 机器人导轨; 类型: 等待事件; 输出位置: 点前执行; 关联端口: 1; 端口值: 1 等待的事: <ABB-IRB120> 发送 :3。 即当导轨接收机器人发送的信号 3 后, 将其移动至初始位置。 至此任务动作设定结束, 结果如图所示

5. 工作站仿真调试

在软件菜单栏“基础编程”里, 单击“仿真”按钮, 在“仿真管理”面板中单击“开始仿真”按钮, 对以上编辑内容进行仿真校验, 并根据具体实施情况调整位置、姿态或数据等, 直至任务顺利实施, 具体操作步骤如表 1-1-9 所示。

表 1-1-9 仿真过程

序号	图例	操作内容
1		在 PQArt 机器人离线编程软件界面菜单栏的“基础编程”里单击“仿真”按钮
2		“仿真管理”面板中单击“开始仿真”按钮

至此, 任务仿真完成, 请根据仿真调试过程, 将遇到的问题及解决方案填入表 1-1-10

中，以备后续进行故障手册的建立。

表 1-1-10 调试故障记录表

序号	遇到的问题	解决方案
1		
2		
3		
4		
复盘总结：		

任务验收

验收单					
任务	内容	评分标准	配分	得分	小计
工具快换作业	数字素养	信息收集方法	5		
		信息收集情况	5		
	工匠素养	能够认真负责地推进任务	5		
		能够开展有效的团队合作	5		
		遇到问题能够努力解决	5		
	技能素养	能够创建“智能制造单元系统集成应用平台”工作站	10		
		能够正确布置八个工作单元	10		
		能够正确布置工具单元中的工具	10		
		机器人能抓取工具	10		
		机器人能放置工具	10		
		机器人移动过程中速度与转弯半径符合要求	5		
		机器人运行过程中未发生碰撞	10		
		机器人能够按照要求返回原点	10		

续表

考核主体	分值	得分	存在的问题	方案
指导教师评价	100			
企业教师评价	100			
小组互评	100			
自评成绩	100			
增量评价	10 ~ 20			
总评	100			总评分成绩 = 指导教师评价 × 35% + 企业教师评价 × 35% + 小组互评 × 15% + 自评成绩 × 15% + 增量评价



任务拓展

常用离线编程与虚拟仿真软件

RoboMaster 是目前离线编程与虚拟仿真软件国外品牌中应用广泛的软件，其界面如图 1-1-22 所示，它几乎支持市场上绝大多数机器人品牌（库卡、ABB、发那科、安川、史陶比尔、珂玛、三菱、松下等）。RoboMaster 是在 Mastercam 中将离线编程、仿真和代码生成无缝集成，从而提供快速、准确无误的机器人程序。

RoboMaster 软件的技术特点如下。

- (1) 全集成的三维曲线编程功能，可直接从 CAD/CAM 界面上输出程序。
- (2) 强大的工作空间模拟工具确保了最终程序即时可用，完全无错。
- (3) 自动生成无碰撞的过渡路径，自动优化机器人关节配置。
- (4) 通过整体管理机器人工作站及所有外部轴，来实现复杂工具的最优加工姿态。
- (5) 提供了直观的、可视化的、可与不同应用结合的定制界面。
- (6) 暂时不支持多台机器人同时模拟仿真。

RoboMaster 软件的应用领域：切割、焊接、去毛刺、抛光、研磨、喷涂等。

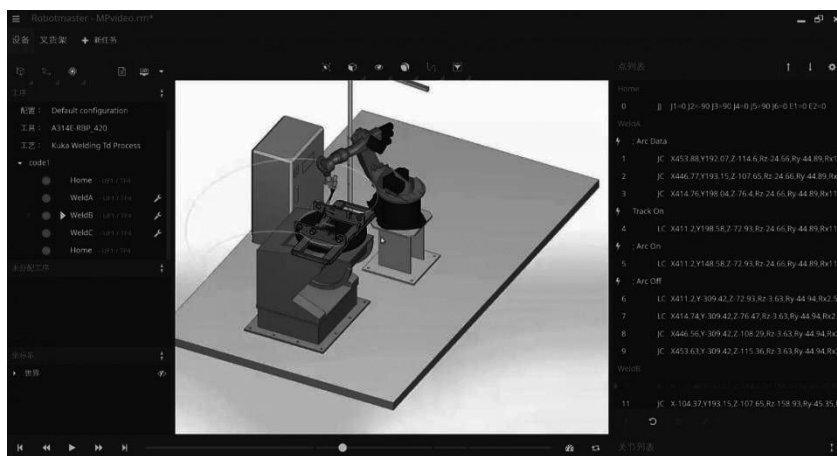


图 1-1-22 RoboMaster 软件界面

InteRobot 是由华数机器人推出的一款具备完全自主知识产权、贴近工业市场应用的国产离线编程与仿真软件，其界面如图 1-1-23 所示。InteRobot 支持华数、ABB、库卡、安川、川崎等国内外各种品牌和型号的工业机器人，具备机器人库管理、工具库管理、加工方式选择、加工路径规划、运动学求解、机器人选解、控制参数设置、防碰撞和干涉检查、运动学仿真等离线编程基本功能，最大特色是与应用领域的工艺知识深度融合，可解决机器人应用领域扩大和任务复杂程度增加的迫切难题。



图 1-1-23 InteRobot 软件界面

InteRobot 软件的技术特点如下。

- (1) 直接针对三维模型进行编程和仿真，编程快、精度高，且没有安全隐患。
- (2) 支持国内外主流品牌机器人，也支持自定义。
- (3) 深度融合多领域工艺，提供专业化工艺软件包。
- (4) 轨迹规划提供手动、自动、外部等方法，并智能优化轨迹。
- (5) 高效的程序点校验和修调方法。

InteRobot 软件的应用领域：激光焊接与切割、喷涂、多轴加工等。

RobotStudio 软件是 ABB 公司专门开发的工业机器人离线编程与虚拟仿真软件，其界面如图 1-1-24 所示。作为与 ABB 工业机器人设备配套的仿真软件，其基于 Windows 操作系统，具有强大的离线编程功能及友好的操作界面。

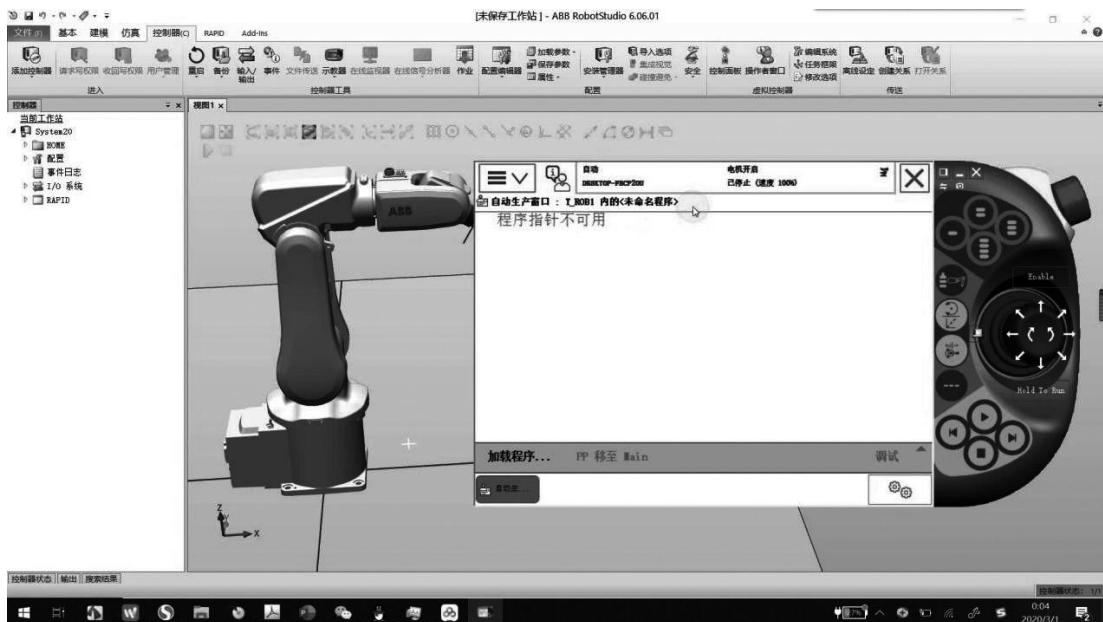


图 1-1-24 RobotStudio 软件界面

RobotStudio 软件的技术特点如下。

- (1) 支持多种格式的三维 CAD 模型。
- (2) 自动生成路径。
- (3) 自动进行可达性分析，完成工作单元平面布置验证和优化。
- (4) 虚拟示教器可完成所有在实际示教器上进行的工作，真正做到所见即所得。
- (5) 碰撞检测可确保机器人离线程序的可用性。
- (6) 在线作业使调试与维护工作更轻松。
- (7) 应用功能包针对不同的工艺应用，将机器人与工艺应用进行有效的融合。
- (8) 二次开发功能可使机器人实现更多应用，满足科研需求。

RobotStudio 软件的应用领域：激光切割、打磨、喷涂、焊接等。



习题思考

1. 填空题

- (1) 机器人向导轨发送信号需要添加“_____事件”仿真事件。
- (2) 在离线编程软件 PQArt 中搭建虚拟工作站进行模型精确定位时，应使用_____功能实现模型的移动和旋转。
- (3) PQArt 软件界面主要分为八大部分：标题栏、菜单栏（机器人编程、工艺包、自定义）、绘图区、_____、_____、调试面板、输出面板和状态栏。

2. 操作题

利用三维球将仓储单元 2 号仓位轮毂放置于打磨单元打磨工位上。