

# 工业机器人仿真与离线编程

陈永平 何燕妮 余思涵主编



上海交通大学出版社



智能制造专业群“十三五”规划教材

# 工业机器人 仿真与离线编程

主 编 陈永平 何燕妮 余思涵

副主编 高苏启 郝 淼 李 莉



上海交通大学出版社

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

## 内容简介

本书以 ABB 机器人为对象,使用 ABB 机器人仿真软件 RobotStudio 进行工业机器人的仿真与离线编程。首先介绍了工业机器人离线编程的概况、工业机器人仿真工作站创建、工业机器人工作站模型(工具、机械装置等)创建,并在此基础上以工业机器人应用案例介绍了轨迹离线编程方法和搬运工作站的仿真方法。全书共有 8 个项目,每一个项目下分成 2~4 个工作任务,以任务为引导,图文并茂地详细讲解了工业机器人离线编程和仿真的方法。

本书适合作为高等职业院校制造大类和电子信息大类相关专业教材,也可作为工程技术人员的参考资料和培训用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

工业机器人仿真与离线编程 / 陈永平,何燕妮,余思涵主编. —上海:上海交通大学出版社,2018  
ISBN 978 - 7 - 313 - 20253 - 6

I . ①工… II . ①陈… ②何… ③余… III . ①工业机  
器人—仿真设计 ②工业机器人—程序设计 IV .  
①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 226456 号

## 工业机器人仿真与离线编程

主 编: 陈永平 何燕妮 余思涵

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

出 版 人: 谈 毅

印 制: 常熟市文化印刷有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16

字 数: 290 千字

版 次: 2018 年 10 月第 1 版

书 号: ISBN 978 - 7 - 313 - 20253 - 6/ TP

定 价: 42.00 元

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021 - 64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 12.75

印 次: 2018 年 10 月第 1 次印刷

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: 0512 - 52219025

# 智能制造专业群“十三五”规划教材 编委会名单

委 员 （按姓氏首写字母排序）

- |     |                 |
|-----|-----------------|
| 蔡金堂 | 上海新南洋教育科技有限公司   |
| 常韶伟 | 上海新南洋股份有限公司     |
| 陈永平 | 上海电子信息职业技术学院    |
| 成建生 | 淮安信息职业技术学院      |
| 崔建国 | 上海智能制造功能平台      |
| 高功臣 | 河南工业职业技术学院      |
| 郭 琼 | 无锡职业技术学院        |
| 黄 麟 | 无锡职业技术学院        |
| 江可万 | 上海东海职业技术学院      |
| 蒋庆斌 | 常州机电职业技术学院      |
| 孟庆战 | 上海新南洋合鸣教育科技有限公司 |
| 那 莉 | 上海交大教育集团        |
| 秦 威 | 上海交通大学机械与动力工程学院 |
| 邵 瑛 | 上海电子信息职业技术学院    |
| 王维理 | 上海交大教育集团        |
| 徐智江 | 上海豪洋智能科技有限公司    |
| 薛苏云 | 常州信息职业技术学院      |
| 杨 萍 | 上海东海职业技术学院      |
| 杨 帅 | 淮安信息职业技术学院      |
| 杨晓光 | 上海新南洋合鸣教育科技有限公司 |
| 张季萌 | 河南工业职业技术学院      |
| 赵海峰 | 南京信息职业技术学院      |

# 前言



p r e f a c e

制造业是兴国之器、强国之基,人才是立国之本,实现中国制造由大变强战略任务的关键在于人才。21世纪以来,制造业面临全球产业结构调整带来的机遇和挑战。面对全球产业竞争格局的重大调整,国务院制定了《中国制造 2025》规划,提出全面推进制造强国的战略,即到 2025 年使我国迈入制造强国行列。制造强国战略的实施对人才队伍建设和发展提出了更高、更迫切的要求。

2014 年 6 月,习近平总书记在两院院士大会上强调:“机器人革命”有望成为新一轮工业革命的切入点和增长点,机器人是“制造业皇冠顶端的明珠”,其研发、制造、应用是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。

工业机器人作为自动化技术的集大成者,是智能化制造的核心基础设施。在《中国制造 2025》规划的十大重点发展方向中,机器人是其中重要的发展方向。

ABB 作为工业机器人“四大家族”的成员,其 IRB 系列工业机器人功能强大,应用范围广泛,拥有非常高的市场占有率;此外 ABB 配套的离线编程软件 RobotStudio 是机器人本体商中软件做得最好的一款,具有易于操作、上手快的特点,能够轻松实现工业机器人虚拟仿真和离线编程。因此,本书以 ABB RobotStudio 6.06 为例介绍机器人离线编程的基本方法。

本书首先介绍了工业机器人离线编程的概况及常用的离线编程软件,然后以 RobotStudio 软件为例介绍了工业机器人仿真工作站创建、工业机器人工作站模型(工具、机械装置等)创建的方法,并在此基础上以工业机器人应用案例介绍了路径轨迹离线编程方法、使用事件管理器和 Smart 组件进行工作站的动画仿真方法。全书共有 8 个项目,每一个项目下分成 2~4 个工作任务,以任务为引导,图文并茂地详细讲解了工业机器人离线编程和仿真的方法、手段。

本书由上海电子信息职业技术学院陈永平、何燕妮、余思涵担任主编。项目一、七、八由陈永平编写,项目二由李莉编写,项目三由高苏启编写,项目四由余思涵编写,项目五由郝森编写,项目六由何燕妮编写。在本书编写过程中得到了 ABB(中国)有限公司、上海福赛特机器人有限公司等单位有关领导、工程技术人员和教师的支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中存在的不足和缺漏,敬请专家、广大读者批评指正。

# 目录



c o n t e n t s

<b>项目一 初识工业机器人离线编程</b> .....	001
任务一 认识工业机器人编程方法 .....	001
1. 示教编程 .....	001
2. 离线编程 .....	002
任务二 了解机器人离线编程流程 .....	003
1. 离线编程主要流程 .....	003
2. 离线编程系统构成 .....	003
任务三 了解离线编程主流软件 .....	005
1. 离线编程软件分类 .....	005
2. 离线编程软件介绍 .....	006
3. 离线编程软件发展趋势 .....	012
任务四 熟悉 ABB RobotStudio 软件 .....	012
1. 下载 ABB RobotStudio 软件 .....	012
2. 安装 ABB RobotStudio 软件 .....	012
3. ABB RobotStudio 软件主要功能界面 .....	012
<b>项目二 工业机器人虚拟仿真工作站创建</b> .....	017
任务一 创建机器人工作站 .....	017
1. 任务描述 .....	017
2. 任务实施 .....	018
任务二 创建机器人系统 .....	026
1. 任务描述 .....	026
2. 任务实施 .....	026
任务三 创建工作站和机器人控制器解决方案 .....	032
1. 任务描述 .....	032
2. 任务实施 .....	032
任务四 常用工具的使用 .....	035
1. 任务描述 .....	035

2. 任务实施	035
<b>项目三 工业机器人工作站模型创建</b>	<b>040</b>
任务一 利用 RobotStudio 建模	041
1. 任务描述	041
2. 任务实施	041
任务二 利用 Proe 软件创建圆形工作台模型	051
1. 任务描述	051
2. 任务实施	051
任务三 利用 Proe 软件创建吸盘工具模型	059
1. 任务描述	059
2. 任务实施	060
<b>项目四 机器人工具创建</b>	<b>076</b>
任务一 导入胶枪的 3D 模型并创建胶枪工具	076
1. 任务描述	076
2. 任务实施	076
任务二 导入吸盘工具的 3D 模型并创建吸盘工具	084
1. 任务描述	084
2. 任务实施	085
<b>项目五 机械装置创建</b>	<b>088</b>
任务一 线性运动手爪创建	089
1. 任务描述	089
2. 任务实施	089
任务二 关节运动手爪创建	098
1. 任务描述	098
2. 任务实施	098
任务三 输送带机械装置创建	107
1. 任务描述	107
2. 任务实施	107
<b>项目六 激光切割机器人离线仿真编程</b>	<b>115</b>
任务一 创建车窗工件坐标系	115
1. 任务描述	115
2. 任务实施	115
任务二 创建机器人自动路径	117
1. 任务描述	117

2. 任务实施	117
任务三 机器人目标点调整及轴配置参数	121
1. 任务描述	121
2. 任务实施	121
任务四 完善程序并仿真运行	126
1. 任务描述	126
2. 任务实施	126
<b>项目七 机器人搬运离线仿真编程</b>	<b>139</b>
任务一 离线示教目标位置点	140
1. 任务描述	140
2. 任务实施	140
任务二 同步到 RAPID	149
1. 任务描述	149
2. 任务实施	149
任务三 码垛位置例行程序修改	151
1. 任务描述	151
2. 任务实施	151
任务四 物件拾取与放置仿真设置	153
1. 任务描述	153
2. 任务实施	153
<b>项目八 机器人 Smart 组件仿真应用</b>	<b>159</b>
任务一 用 Smart 组件创建动态传送带 SC_infeeder	160
1. 任务描述	160
2. 任务实施	160
任务二 用 Smart 组件创建动态夹爪 SC_Claw	171
1. 任务描述	171
2. 任务实施	172
任务三 工作站逻辑设定	182
1. 任务描述	183
2. 任务实施	183
<b>参考文献</b>	<b>190</b>
<b>后记</b>	<b>191</b>







图 1-1 使用示教器示教编程

特点是轨迹简单,操作方便。例如有些场景甚至不需要使用示教器,而是直接由人手执固定在机器人末端的工具进行示教。但是当任务对精度要求较高时,示教编程则无法满足。

## 2. 离线编程

离线编程,是通过软件在电脑里重建整个工作场景的三维虚拟环境,借助软件沿直线、圆、曲线等的动作指令控制机器人在虚拟环境里的运动,生成运动控制指令,再经过软件仿真与调整轨迹生成机器人程序,输入到机器人控制器中(见图 1-2)。

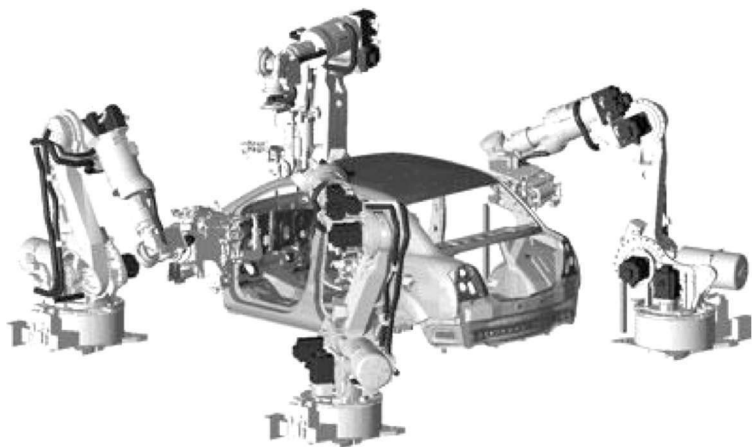


图 1-2 使用编程软件离线编程

目前离线编程广泛应用于打磨、去毛刺、焊接、激光切割、数控加工等新兴机器人应用领域。离线编程克服了在线示教编程的很多缺点,与示教编程相比,离线编程系统具有如下优点:

- (1) 减少机器人停机的时间,当对下一个任务进行编程时,机器人仍可在生产线上工作。
- (2) 使编程者远离危险的工作环境,改善了编程环境。
- (3) 离线编程系统使用范围广,可以对各种机器人进行编程,并能方便地实现优化编程。
- (4) 便于和 CAD/CAM 系统结合,做到 CAD/CAM/ROBOTICS 一体化。
- (5) 可使用高级计算机编程语言对复杂任务进行编程。
- (6) 便于修改机器人程序。

工业机器人离线编程与在线示教编程各具特点,如表 1-1 所示。

随着智能制造的推进,企业通过建立工厂的虚拟数字模型来进行生产线规划、生产过程可视化管理,这些方式促进了机器人离线编程,因为机器人离线编程的第一步便是建立机器人系统的三维虚拟环境。借助智能制造的东风,机器人离线编程也将取得进一步的进展。

表 1-1 工业机器人离线编程与在线示教编程特点

示 教 编 程	离 线 编 程
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 需要实际机器人系统和工作环境</li> <li>● 编程时机器人停止工作</li> <li>● 在实际系统上试验程序</li> <li>● 编程的质量取决于编程者的经验</li> <li>● 难以实现复杂的机器人运行轨迹</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 需要机器人系统和工作环境的图形模型</li> <li>● 编程时不影响机器人工作</li> <li>● 通过仿真试验程序</li> <li>● 可用 CAD 方法进行最佳轨迹规划</li> <li>● 可实现复杂运行轨迹的编程</li> </ul>

## 任务二 了解机器人离线编程流程

### 1. 离线编程主要流程

机器人离线编程系统不仅要在计算机上建立起机器人系统的物理模型,而且要对其进行编程和动画仿真以及对编程结果后置处理。离线编程主要流程如图 1-3 所示,首先建立待加工产品的 CAD 模型,以及机器人和产品之间的几何位置关系,然后根据特定的工艺进行轨迹规划和离线编程仿真,确认无误后下载到机器人控制器中执行。目前,有些机器人厂商提供机器人的三维模型数据库,用户可以根据需要下载,如 DELMIA 就拥有 400 种以上的机器人资源。

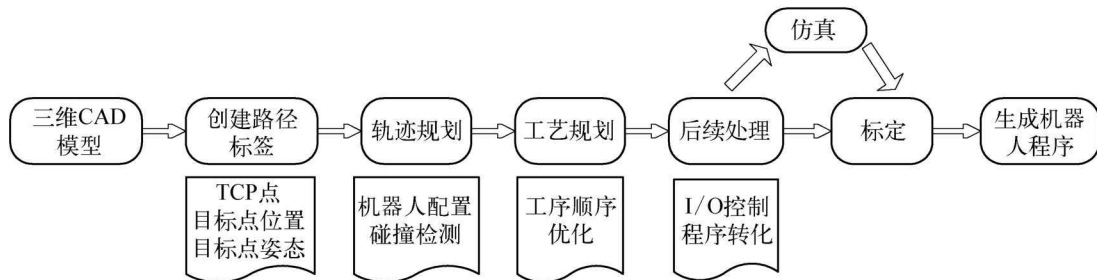


图 1-3 编程关键步骤

### 2. 离线编程系统构成

一般说来,机器人离线编程系统包括以下一些主要模块:传感器、机器人系统 CAD 建模、离线编程、图形仿真、人机界面以及后置处理等,如图 1-4 所示。

#### 1) CAD 建模

CAD 建模需要完成以下任务:① 零件建模;② 设备建模;③ 系统设计和布置;④ 几何模型图形处理。图 1-5 是机床上下料的 CAD 模型。

利用现有的 CAD 数据及机器人理论结构参数所构建的机器人模型与实际模型之间存在着误差,所以必须对机器人进行标定,对其误差进行测量、分析及不断校正所建模型。随着机器人应用领域的不断扩大,机器人作业环境的不确定性对机器人作业任务有着十分重要的影响,固定不变的环境模型是不够的,极可能导致机器人作业的失败。因此,如何对环境的不确定性进行抽取,并以此动态修改环境模型,是机器人离线编程系统实用化的一个重要问题。

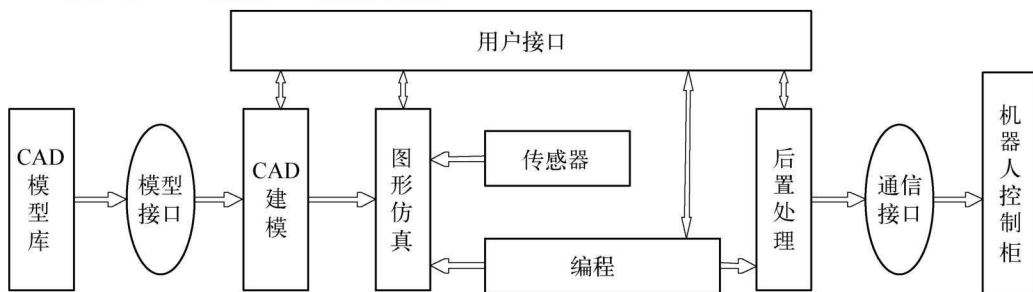


图 1-4 机器人离线编程的组成

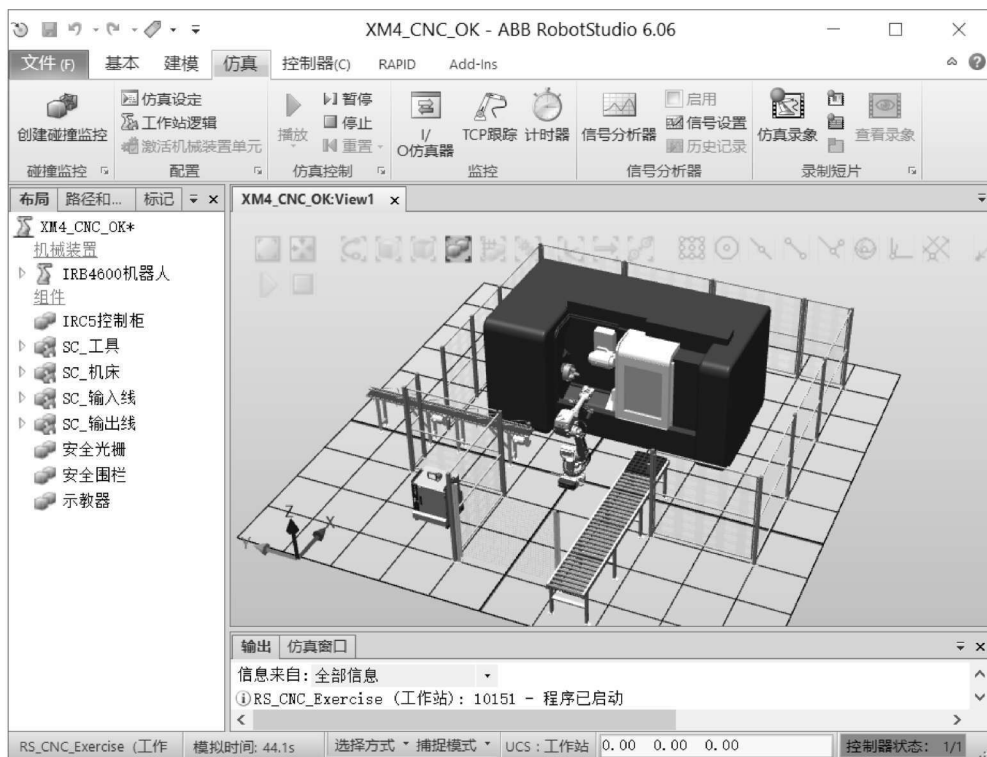


图 1-5 在软件里重建整个工作场景的三维虚拟环境

## 2) 图形仿真

离线编程系统的一个重要作用是离线调试程序，而离线调试最直观有效的方法是在不接触实际机器人及其工作环境的情况下，利用图形仿真技术模拟机器人的作业过程，提供一个与机器人进行交互作用的虚拟环境。计算机图形仿真是机器人离线编程系统的重要组成部分，它将机器人仿真的结果以图形的形式显示出来，直观地显示出机器人的运动状况，从而可以得到从数据曲线或数据本身难以分析出来的许多重要信息，离线编程的效果正是通过这个模块来验证的。

随着计算机技术的发展，在 PC 的 Windows 平台上可以方便地进行三维图形处理，并以此为基础完成 CAD、机器人任务规划和动态模拟图形仿真。一般情况下，用户在离线编程

模块中为作业单元编制任务程序,经编译连接后生成仿真文件。在仿真模块中,系统解释控制执行仿真文件的代码,对任务规划和路径规划的结果进行三维图形动画仿真,模拟整个作业的完成情况,检查发生碰撞的可能性及机器人的运动轨迹是否合理,并计算机器人的每个工步的操作时间和整个工作过程的循环时间,为离线编程结果的可行性提供参考。

### 3) 编程

编程模块一般包括机器人及设备的作业任务描述(包括路径点的设定)、建立变换方程、求解未知矩阵及编制任务程序等。在进行图形仿真以后,根据动态仿真的结果,对程序做适当的修正,以达到满意效果,最后在线控制机器人运动以完成作业。

面向任务的机器人编程是高度智能化的机器人编程技术的理想目标——使用最适合于用户的类自然语言形式描述机器人作业,通过机器人装备的智能设施实时获取环境的信息,并进行任务规划和运动规划,最后实现机器人作业的自动控制。面向对象机器人离线编程系统所定义的机器人编程语言把机器人几何特性和运动特性封装在一块,并为之提供了通用的接口。基于这种接口,可方便地与各种对象,包括传感器对象打交道。由于语言能对任何信息直接进行操作且具有空间推理功能,因此它能方便地实现自动规划和编程。此外,还可以进一步实现对象化任务级编程语言,这是机器人离线编程技术的又一大提高。

### 4) 传感器

近年来,随着机器人技术的发展,传感器在机器人作业中起着越来越重要的作用,对传感器的仿真已成为机器人离线编程系统中必不可少的一部分,并且也是离线编程能够实用化的关键。利用传感器的信息能够减少仿真模型与实际模型之间的误差,增加系统操作和程序的可靠性,提高编程效率。对于有传感器驱动的机器人系统,由于传感器产生的信号会受到多方面因素的干扰(如光线条件、物理反射率、物体几何形状以及运动过程的不平衡性等),使得基于传感器的运动不可预测。传感器技术的应用使机器人系统的智能性大大提高,机器人作业任务已离不开传感器的引导。因此,离线编程系统应能对传感器进行建模,生成传感器的控制策略,对基于传感器的作业任务进行仿真。

### 5) 后置处理

后置处理的主要任务是把离线编程的源程序编译为机器人控制系统能够识别的目标程序,即当作业程序的仿真结果完全达到作业的要求后,将该作业程序转换成目标机器人的控制程序和数据,并通过通信接口输入到目标机器人控制柜,驱动机器人去完成指定的任务。由于机器人控制柜的多样性。要设计通用的通信模块比较困难,因此一般采用后置处理将离线编程的最终结果翻译成目标机器人控制柜可以接受的代码形式,然后实现加工文件的上传及下载。机器人离线编程中,仿真所需数据与机器人控制柜中的数据是有些不同的。所以离线编程系统中生成的数据有两套:一套供仿真用;一套供控制柜使用,这些都是由后置处理进行操作的。

## 任务三 了解离线编程主流软件

### 1. 离线编程软件分类

常用离线编程软件,可按不同标准分类,例如,可以按国内与国外分类,也可以按通用离

线编程软件与厂家专用离线编程软件。

按国内与国外分类,可以分为以下两大阵营:国产软件主要有 RobotArt、Robotdk;国外软件主要有 RobotMaster、RobotWorks、Robomove、RobotCAD、DELMIA、RobotStudio、RoboGuide。

按通用离线编程与厂家专用离线编程,又可以分为以下两大阵营:通用软件包括 RobotArt、RobotMaster、Robomove、RobotCAD、DELMIA 等;厂家专用软件有 ABB 的 RobotStudio、Fanuc 的 RoboGuide、KUKA 的 KUKA Sim、Yaskawa 的 MotoSim 等。

## 2. 离线编程软件介绍

下面对各厂商离线编程软件做介绍。

### 1) RobotArt

RobotArt 软件界面如图 1-6 所示,它是由北京华航唯实开发出的一款国产离线编程软件,填补了国产离线编程软件的空白。软件根据虚拟场景中的零件形状,自动生成加工轨迹,并且支持大部分主流机器人,如 ABB、KUKA、Fanuc、Yaskawa、Staubli、KEBA 系列、新时达、广数等。软件根据几何数模的拓扑信息生成机器人运动轨迹,轨迹仿真、路径优化、后置代码,同时集碰撞检测、场景渲染、动画输出于一体,可快速生成效果逼真的模拟动画。强调服务,重视企业定制。资源丰富的在线教育系统,非常适合学校教育和个人学习。



图 1-6 RobotArt 离线仿真软件

优点:

- (1) 支持多种格式的三维 CAD 模型,可导入扩展名为 step、igs、stl、x\_t、prt、CATPart、sldpart 等格式。
- (2) 自动识别与搜索 CAD 模型的点、线、面信息生成轨迹。
- (3) 轨迹与 CAD 模型特征关联,模型移动或变形,轨迹自动变化。
- (4) 一键优化轨迹与几何级别的碰撞检测。
- (5) 支持多种工艺包,如切割、焊接、喷涂、去毛刺、数控加工。

(6) 支持将整个工作站仿真动画发布到网页、手机端。

缺点：软件不支持国外小品牌机器人，轨迹编程还需要再强大。

## 2) RobotMaster

RobotMaster 由加拿大软件公司 Jabez 科技(已被美国海宝收购)开发研制,是目前离线编程软件国外品牌中顶尖的软件(见图 1-7),支持市场上绝大多数机器人品牌(KUKA、ABB、Fanuc、Motoman、Staubli、珂玛、三菱、DENSO、松下等)。RobotMaster 基于 Mastercam 二次开发,在 Mastercam 中无缝集成了机器人编程、仿真和代码生成功能,提高了机器人编程速度。RobotMaster 为以下所有行业应用提供了理想的离线机器人编程解决方案:修整、3D 加工、去毛刺、抛光、焊接、点胶、研磨等。

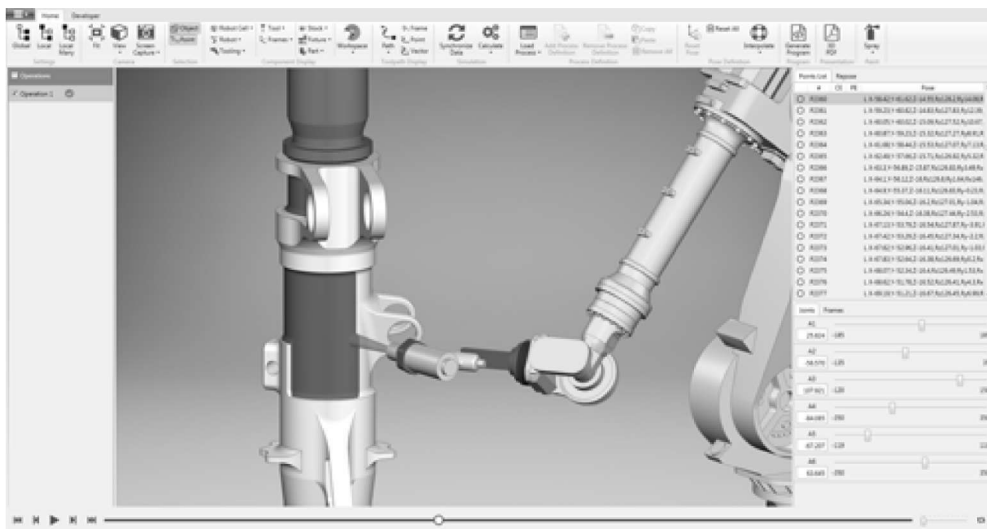


图 1-7 RobotMaster 软件

优点:

- (1) CAD/CAM 文件自动生成优化的轨迹。
- (2) 自动解决奇点、碰撞、连接和范围限制问题。
- (3) 独特的“单击拖动”仿真环境,微调轨迹和过渡。
- (4) 优化部件定位、工具倾斜度和有效控制外部轴。
- (5) 针对可定制特定流程(如焊接、切割等)控制的应用屏幕。

缺点:暂时不支持多台机器人同时模拟仿真。基于 Mastercam 做的二次开发,价格昂贵,企业版在 20W 左右。

## 3) RobotWorks

RobotWorks 是来自以色列的机器人离线编程仿真软件(见图 1-8),基于 SolidWorks 二次开发,使用时,需要先购买 SolidWorks。由于是二次开发,交互性上,比 RobotArt 难用。主要功能如下:

(1) 全面的数据接口:可通过 IGES、DXF、DWG、PrarSolid、Step、VDA、SAT 等标准接口进行数据转换。



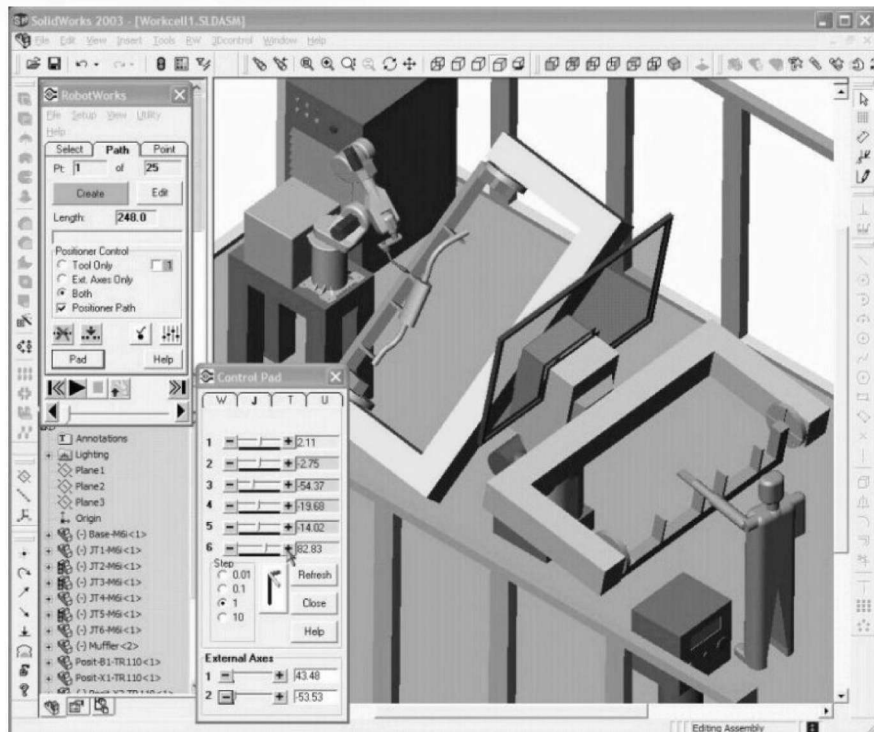


图 1-8 RobotWorks 软件

(2) 强大的编程能力：从输入 CAD 数据到输出机器人加工代码只需四步。

第一步：从 SolidWorks 创建或直接导入其他三维 CAD 数据，选取定义好的机器人工具与要加工的工件组合成装配体。所有装配夹具和工具客户均可以用 SolidWorks 自行创建调用。

第二步：RobotWorks 选取工具，然后直接选取曲面的边缘或者样条曲线进行加工产生数据点。

第三步：调用所需的机器人数据库，开始做碰撞检查和仿真，在每个数据点均可以自动修正，包含工具角度控制、引线设置、增加减少加工点、调整切割次序、在每个点增加工艺参数。

第四步：RobotWorks 自动产生各种机器人代码，包含笛卡尔坐标数据、关节坐标数据、工具与坐标系数据、加工工艺等，按照工艺要求保存不同的代码。

(3) 强大的工业机器人数据库：系统支持市场上主流的大多数的工业机器人，提供各大工业机器人各个型号的三维数模。

(4) 完美的仿真模拟：独特的机器人加工仿真系统可对机器人手臂、工具与工件之间的运动进行自动碰撞检查，轴超限检查，自动删除不合格路径并调整，还可以自动优化路径，减少空跑时间。

(5) 开放的工艺库定义：系统提供了完全开放的加工工艺指令文件库，用户可以按照自己的实际需求自行定义添加设置自己独特工艺，添加的任何指令都能输出到机器人加工数据里面。



缺点：RobotWorks 基于 SolidWorks 开发，SolidWorks 本身不带 CAM 功能，编程烦琐，机器人运动学规划策略智能化程度低。

优点：生成轨迹方式多样、支持多种机器人、支持外部轴。

#### 4) RobotCAD

RobotCAD 是西门子旗下的软件，软件相当庞大，重点在生产线仿真。软件支持离线点焊、多台机器人仿真、非机器人运动机构仿真，精确的节拍仿真。RobotCAD 主要应用于产品生命周期中的概念设计和结构设计两个前期阶段。其软件界面如图 1-9 所示。

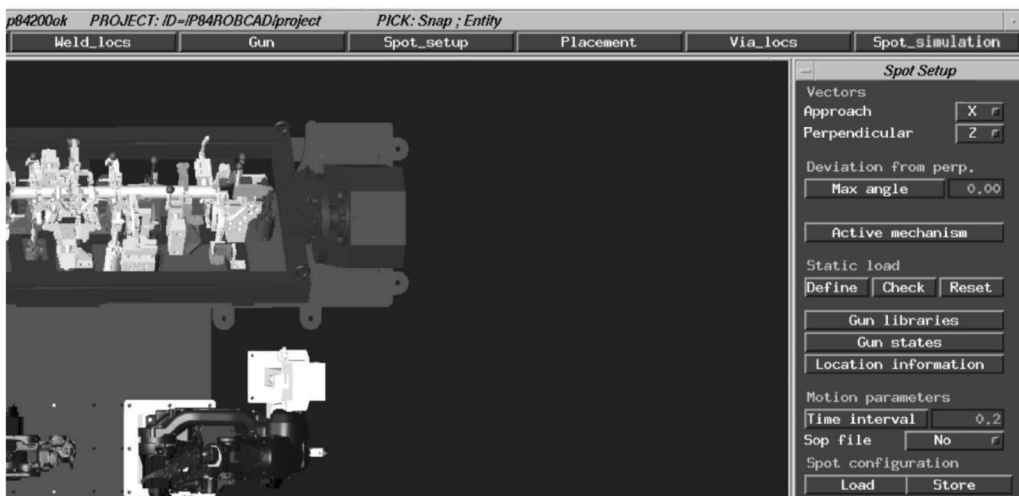


图 1-9 RobotCAD 软件

RobotCAD 的主要功能包括：

(1) WorkcellandModeling：对白车身生产线进行设计、管理和信息控制。

(2) SpotandOLP：完成点焊工艺设计和离线编程。

(3) Human：实现人因工程分析。

(4) Application 中的 Paint、Arc、Laser 等模块：实现生产制造中喷涂、弧焊、激光加工、辊边等工艺的仿真验证及离线程序输出。

(5) RobotCAD 的 Paint 模块。喷漆的设计、优化和离线编程，其功能包括：喷漆路线的自动生成、多种颜色喷漆厚度的仿真、喷漆过程的优化。

其主要特点包括：

(1) 与主流的 CAD 软件(如 NX、CATIA、IDEAS)无缝集成；

(2) 实现工具工装、机器人和操作者的三维可视化；

(3) 制造单元、测试以及编程的仿真。

缺点：价格昂贵，离线功能较弱，Unix 移植过来的界面，人机界面不友好。

#### 5) DELMIA

DELMIA 是达索旗下的 CAM 软件(见图 1-10)，是达索 PLM 的子系统。CATIA 是达索旗下的 CAD 软件。DELMIA 有 6 大模块，Robotics 解决方案只是其中之一，涵盖汽车领域的发动机、总装和白车身(body-in-white)，航空领域的机身装配、维修维护，以及一般制