



工业机器人

仿真与离线编程

主 编◎朱 林 吴海波

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

工业机器人 仿真与离线编程

主 编 朱 林 吴海波
副主编 孙小进 谢 琴 李秋芳
黎鑫雨 陈振龙

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要以 ABB 与 KUKA 机器人为例,介绍了 ABB RobotStudio 与 KUKA Sim Pro 软件的仿真与离线编程功能。主要内容包括: ABB RobotStudio 软件的介绍及基本操作、ABB RobotStudio 软件的在线编程功能、ABB RobotStudio 软件的建模功能、ABB RobotStudio 软件离线轨迹编程、ABB RobotStudio 软件 Smart 组件的应用、ABB RobotStudio 软件带导轨和变位机的机器人系统创建与应用、ABB RobotStudio 软件 ScreenMaker 示教器用户自定义界面、KUKA Sim Pro 软件的介绍及基本操作、KUKA OfficeLite 虚拟示教器软件基本操作、KUKA Sim Pro 软件搬运码垛流水线的应用、KUKA Sim Pro 软件带导轨和变位机的机器人系统创建与应用。

书中内容简明扼要、图文并茂、通俗易懂,并配有湖南科瑞迪教育发展公司提供的 MOOC 平台在线教学视频(www.moocdo.com),适合作为各普通高校与职业院校的教材,同时也适合工业机器人的操作者阅读参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人仿真与离线编程/朱林,吴海波主编. —北京:北京理工大学出版社, 2017.8

ISBN 978 - 7 - 5682 - 4351 - 3

I. ①工… II. ①朱… ②吴… 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 (2017) 第 169962 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 22.5

字 数 / 525 千字

版 次 / 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 78.00 元

责任编辑 / 王艳丽

文案编辑 / 王艳丽

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言

Preface

机器人编程是为了让机器人自动执行某项操作任务而人工为其编写的动作顺序程序。根据机器人控制器类型以及芯片复杂程度的不同，通常可采用多种方式为其编程。通常的机器人编程方式有以下两种。

第一种是手动示教编程，即操作人员通过示教器，手动控制机器人的关节运动，以使机器人运动到预定的位置，同时将该位置进行记录，并传递到机器人控制器中，之后的机器人可根据指令自动重复该任务，操作人员也可以选择不同的坐标系对机器人进行示教。

各家机器人的示教器可谓五花八门，操作也不一样。

- (1) 示教在线编程过程烦琐、效率低。
- (2) 精度完全是靠示教者的目测决定，而且对于复杂的路径示教在线编程难以取得令人满意的效果。
- (3) 示教器种类太多，学习量太大。
- (4) 示教过程容易发生事故，轻则撞坏设备，重则撞伤人。
- (5) 对实际的机器人进行示教时要占用机器人。

第二种机器人编程方式即离线编程。离线编程是当前较为流行的一种编程方式，所谓示教编程，因为示教器与机器人要通过线缆连接，而且必须在工作现场编程，所以又可以称为在线编程或现场编程。离线编程，顾名思义，就是不用在环境嘈杂的现场，而是通过软件，在计算机里重建整个工作场景的三维虚拟环境，软件可以根据要加工零件的大小、形状、材料，同时配合软件操作者的一些操作，自动生成机器人的运动轨迹，即控制指令。离线编程克服了在线示教编程的很多缺点，充分利用了计算机的功能，减少了编写机器人程序所需要的时间成本，同时也降低了在线示教编程的难度。

离线编程软件有 RobotArt、RobotMaster、RobotWorks、RobotStudio 等，这些都是离线编程行业中首屈一指的软件。软件最大特点是可以根据虚拟场景中的零件形状，自动生成加工轨迹，并且可以控制大部分主流机器人，对国内机器人也是支持的。软件根据几何数模的拓扑信息生成机器人运动轨迹，之后轨迹仿真、路径优化、后置代码一气呵成，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。广泛应用于打磨、去毛刺、焊接、激光切割、数控加工等领域。

机器人离线编程系统正朝着智能化、专用化的方向发展，用户操作越来越简单方便，并且能够快速生成控制程序。在某些具体的应用领域可以实现参数化，极大地简化了用户的操作。同时机器人离线编程技术对机器人的推广应用及其工作效率的提升有着重要的意义，离线编程可以大幅节约制造时间，实现机器人的实时仿真，为机器人的编

程和调试提供灵活的工作环境，所以说离线编程是机器人发展的一个大的方向。

本书主要以 ABB 和 KUKA 机器人为例，介绍 ABB RobotStudio 与 KUKA Sim Pro 软件的仿真与离线编程功能。前 7 个项目主讲 ABB 工业机器人，后 4 个项目主讲 KUKA 工业机器人。

书中内容简明扼要、图文并茂、通俗易懂，并配合有湖南科瑞迪教育发展公司提供的 MOOC 平台在线教学视频 (www.moocdo.com)，适合作为各普通高校与职业院校的教材，同时也适合工业机器人的操作者阅读参考。

本书由朱林、吴海波担任主编，孙小进、谢琴、李秋芳、黎鑫雨、陈振龙担任副主编，白润华参与编写。

感谢为本书撰写提供了许多宝贵建议的谭立新教授，以及为本书中实践操作及视频录制提供大力支持的湖南科瑞特科技股份有限公司。尽管编者主观上想努力使读者满意，但书中肯定还会有不足之处，欢迎读者提出宝贵建议。

编 者

目 录

Contents

▶项目1 ABB RobotStudio 软件的介绍及基本操作	1
1.1 项目描述	1
1.2 教学目的	1
1.3 知识准备	1
1.3.1 工业机器人仿真应用技术介绍	1
1.3.2 ABB RobotStudio 软件的基本功能介绍	2
1.3.3 ABB RobotStudio 软件界面介绍	2
1.3.4 工件坐标介绍	4
1.3.5 利用 ABB RobotStudio 软件进行目标点示教	6
1.4 任务实现	6
任务1 在计算机上安装 RobotStudio 软件	6
任务2 搭建一个简单的工业机器人工作站	7
任务3 在工作站中创建工件坐标	22
任务4 在工作站中进行运动轨迹示教编程	25
任务5 使用 ABB RobotStudio 软件录制和制作独立播放 exe 文件	34
1.5 考核评价	37
考核任务1 安装 RobotStudio 软件	37
考核任务2 熟练掌握 RobotStudio 软件的基本操作方式	37
考核任务3 熟练掌握创建工业机器人工件坐标与轨迹程序	37
考核任务4 能够完成简单的仿真运行机器人及录制视频	37
▶项目2 ABB RobotStudio 软件的在线编程功能	38
2.1 项目描述	38
2.2 学习目的	38
2.3 知识准备	38
2.3.1 ABB RobotStudio 软件在线基本功能介绍	38
2.3.2 RobotStudio 软件与机器人的连接方式介绍	40
2.3.3 用户授权系统介绍	40
2.3.4 养成习惯性使用机器人系统备份的意义	41
2.4 任务实现	42
任务1 使用 RobotStudio 软件与机器人进行连接并获取权限操作	42
任务2 使用 RobotStudio 软件进行备份与恢复操作	49

任务 3	使用 RobotStudio 软件在线编辑 RAPID 程序的操作	53
任务 4	使用 RobotStudio 软件在线编辑 I/O 信息操作	56
任务 5	使用 RobotStudio 软件在线传送文件	56
任务 6	使用 RobotStudio 软件在线监控机器人和示教器状态	56
任务 7	使用 RobotStudio 软件在线设定示教器用户操作权限管理并 登入设定用户	62
2.5	考核评价	68
考核任务 1	熟练掌握使用 RobotStudio 软件进行备份与恢复	68
考核任务 2	熟练掌握使用 RobotStudio 软件在线编辑 I/O 信息操作	68
考核任务 3	熟练掌握使用 RobotStudio 软件在线设定示教器用户 操作权限管理	68
▶ 项目 3	ABB RobotStudio 软件的建模功能	69
3.1	项目描述	69
3.2	教学目的	69
3.3	知识准备	69
3.3.1	ABB RobotStudio 软件的建模功能的基本介绍	69
3.3.2	ABB RobotStudio 软件的建模功能的基本使用	70
3.3.3	从外部导入三维模型的基本方式介绍	71
3.4	任务实现	74
任务 1	使用 ABB RobotStudio 软件创建一个工作平台	74
任务 2	使用 ABB RobotStudio 软件创建机械装置	75
任务 3	使用 ABB RobotStudio 软件创建机器人工具	83
3.5	考核评价	89
考核任务 1	熟练掌握建模功能的基本使用	89
考核任务 2	能正确地使用测量工具进行测量的操作	89
考核任务 3	能独立完成创建一个简单的机械装置	89
考核任务 4	能独立完成创建一个简单的机器人工具	89
▶ 项目 4	ABB RobotStudio 软件离线轨迹编程	90
4.1	项目描述	90
4.2	教学目的	90
4.3	知识准备	90
4.3.1	ABB RobotStudio 软件离线轨迹编程介绍	90
4.3.2	ABB RobotStudio 软件离线轨迹编程的关键点介绍	90
4.3.3	关于 ABB RobotStudio 软件机器人碰撞监控功能的介绍	92
4.3.4	关于 ABB RobotStudio 软件机器人 TCP 跟踪功能的介绍	92
4.4	任务实现	93

任务 1	创建机器人激光切割曲线	93
任务 2	生成机器人激光切割路径	93
任务 3	激光切割中机器人目标调整及轴配置参数设置	100
任务 4	激光切割中机器人碰撞监控功能的使用	116
任务 5	激光切割中 TCP 跟踪功能的使用	118
4.5	考核评价	121
考核任务	通过 ABB RobotStudio 离线轨迹编程生成一条机器人可移动的路径	121
►项目 5	ABB RobotStudio 软件 Smart 组件的应用	122
5.1	项目描述	122
5.2	教学目的	122
5.3	知识准备	122
5.3.1	Smart 组件概念	122
5.3.2	Smart 组件菜单介绍	122
5.3.3	ABB RobotStudio 软件中子组件的基本概览	129
5.4	任务实现	150
任务 1	使用 Smart 组件创建动态输送链	150
任务 2	使用 Smart 组件创建动态夹具	163
任务 3	基于搬运工作站逻辑设定	179
任务 4	运行使用了 Smart 组件的机器人搬运工作站项目	181
5.5	考核评价	182
考核任务 1	了解 Smart 组件的菜单	182
考核任务 2	独立完成搬运工作站设定并运行	182
►项目 6	ABB RobotStudio 软件带导轨和变位机的机器人系统创建与应用	183
6.1	项目描述	183
6.2	教学目的	183
6.3	知识准备	183
6.3.1	机器人导轨系统应用场合及作用介绍	183
6.3.2	机器人变位机系统应用场合及作用介绍	183
6.3.3	ABB 机器人系统如何正确导入外轴	184
6.3.4	ABB 机器人系统扩展外部轴的基本编程	184
6.4	任务实现	185
任务 1	在 ABB RobotStudio 软件中创建带导轨的机器人系统	185
任务 2	创建带导轨的机器人系统运动轨迹并仿真运行	190
任务 3	在 ABB RobotStudio 软件中创建带变位机的机器人系统	194
任务 4	创建带变位机的机器人系统的运动轨迹并仿真运行	202

6.5 考核评价	209
考核任务1 熟练掌握创建导轨的机器人系统	209
考核任务2 熟练掌握创建带变位机的机器人系统	209
▶项目7 ABB RobotStudio 软件 ScreenMaker 示教器用户自定义界面	210
7.1 项目描述	210
7.2 教学目的	210
7.3 知识准备	210
7.3.1 了解 ScreenMaker	210
7.3.2 使用 ScreenMaker 的目的	211
7.4 任务实现	211
任务1 创建一个搬运机器人用户自定义界面	211
任务2 设置机器人状态信息界面	216
任务3 设置 I/O 监视界面	229
任务4 调试搬运机器人工作站 ScreenMaker 响应界面	235
7.5 考核评价	237
考核任务1 使用 ScreenMaker 创建一个用户监视界面	237
考核任务2 熟悉 ScreenMaker 的控件功能	237
▶项目8 KUKA Sim Pro 软件的介绍及基本操作	238
8.1 项目描述	238
8.2 教学目的	238
8.3 知识准备	238
8.3.1 KUKA Sim Pro 软件的基本介绍	238
8.3.2 KUKA Sim Pro 软件界面介绍	239
8.3.3 KUKA Sim Pro 软件安装前准备	245
8.3.4 KUKA Sim Pro 软件 3D 世界如何操作做视图	245
8.3.5 KUKA Sim Pro 软件加载工业机器人及周边模型介绍	245
8.3.6 KUKA Sim Pro 软件中移动模型的方法	248
8.3.7 KUKA Sim Pro 软件操作运动的模型	249
8.4 任务实现	251
任务1 在计算机上安装 KUKA Sim Pro 软件	251
任务2 搭建一个简单的机器人工作站	253
任务3 使用 KUKA Sim Pro 软件生成当前工作站的布局图	260
8.5 考核评价	262
考核任务1 安装 KUKA Sim Pro 软件	262
考核任务2 熟练掌握 KUKA Sim Pro 软件的基本操作方式	262
考核任务3 生成一张更复杂机器人布局图	262

▶项目9 KUKA OfficeLite 虚拟示教器软件基本操作	263
9.1 项目描述	263
9.2 教学目的	263
9.3 知识准备	263
9.3.1 KUKA OfficeLite 虚拟示教器运行条件	263
9.3.2 KUKA Sim Pro 软件与 KUKA OfficeLite 虚拟示教器连接设置	264
9.3.3 KUKA OfficeLite 软件虚拟示教器界面介绍	264
9.4 任务实现	268
任务1 使用 KUKA Sim Pro 连接 KUKA OfficeLite 虚拟示教器	268
任务2 使用虚拟示教器软件移动机器人	269
任务3 使用虚拟示教器编写一个移动程序	271
9.5 考核评价	276
考核任务1 熟练掌握虚拟示教器的基本操作方法	276
考核任务2 熟练操作虚拟示教器编写 KRL 程序	276
考核任务3 对虚拟示教器进行探索	276
▶项目10 KUKA Sim Pro 软件搬运码垛流水线的应用	277
10.1 项目描述	277
10.2 教学目的	277
10.3 知识准备	277
10.3.1 KUKA Sim Pro 软件创建工具坐标	277
10.3.2 KUKA Sim Pro 软件创建工件坐标	279
10.3.3 KUKA Sim Pro 软件中上料机介绍	281
10.3.4 KUKA Sim Pro 软件中输送线的介绍	283
10.3.5 KUKA Sim Pro 软件中工具设定功能介绍	285
10.3.6 防碰撞检测设置介绍	286
10.3.7 Job Map 工具栏介绍	288
10.3.8 程序介绍	289
10.4 任务实现	290
任务1 设定机器人的工具坐标	290
任务2 设定机器人的工件坐标	293
任务3 设定上料机的物料模型	296
任务4 连接上料机和输送线	297
任务5 传感器输出连接至机器人 IO 信息	298
任务6 编写程序和示教机器人点位	300
10.5 考核评价	313
考核任务1 熟练掌握知识准备内容中的知识点	313
考核任务2 将工作站编写完整	313

▶项目 11 KUKA Sim Pro 软件带导轨和变位机的机器人系统创建与应用	314
11.1 项目描述	314
11.2 教学目的	314
11.3 知识准备	314
11.3.1 KUKA 外部轴与机器人系统连接	314
11.3.2 KUKA 机器人系统扩展外部轴的基本操作方式	317
11.4 任务实现	319
任务 1 在 KUKA 软件中创建带变位机的机器人系统	319
任务 2 创建带变位机的机器人系统项目并仿真运行	325
任务 3 在 KUKA 软件中创建带导轨的机器人系统	334
任务 4 创建带导轨的机器人系统项目并仿真运行	337
11.5 考核评价	347
考核任务 1 熟练掌握机器人系统添加外部轴	347
考核任务 2 将本项目的两个任务完善	347

项目 1

ABB RobotStudio软件的介绍及 基本操作

1.1 项目描述

本项目讲述：ABB RobotStudio 软件的安装；ABB RobotStudio 软件的基本使用；机器人工件坐标系等知识点。

1.2 教学目的

通过本项目的学习可以掌握 ABB RobotStudio 安装、ABB RobotStudio 的功能以及如何使用 ABB RobotStudio 创建一个工作站及在工作站使用机器人，为后面项目的学习打下坚实的基础。

1.3 知识准备

1.3.1 工业机器人仿真应用技术介绍

机器人仿真系统作为机器人研究和开发中安全可靠、灵活方便的工具，发挥着越来越重要的作用。在仿真环境下，通过对机器人运动进行研究及编程验证，可以实现机器人轨迹规划、奇异位姿、逆运动学有效解、避障算法甚至多机器协调作业等复杂功能。

1.3.2 ABB RobotStudio 软件的基本功能介绍

(1) 在线作业。使用 RobotStudio 与真实的机器人进行连接通信，对机器人进行便捷的监控、程序修改、参数设定、文件传送及备份恢复等操作，使调试与维护工作更轻松。

(2) 模拟仿真。根据设计，在 RobotStudio 中进行机器人工作站的动作模拟仿真和周期节拍计数，为工程的实施提供真实的验证。

(3) CAD 导入。RobotStudio 可以轻易地以各种主要的 CAD 格式导入模型，包括 IGES、STEP、VRML、ACIS 和 CATIA。通过使用此类非常精确的 3D 模型，机器人程序设计人员可以生成更为精确的机器人程序，从而提高产品质量。

(4) 自动生成路径。通过使用待加工部件的 3D 模型，可在短短几秒内生成跟踪曲线所需要的机器人位置。

(5) 自动分析伸展能力。此快捷功能可让操作者灵活移动机器人或工件，直至所有位置机器人均可达到。

(6) 碰撞检测。在 RobotStudio 中，可以对机器人在运动过程中是否可能与周围设备发生碰撞进行验证和确认，以确保机器人离线编程得出的程序的可用性。

(7) 应用功能包。针对不同的应用推出功能强大的工艺包，将机器人更好地与工艺应用进行有效的融合。

1.3.3 ABB RobotStudio 软件界面介绍

(1) “文件”功能选项卡包含创建新工作站、创造新机器人系统、连接到控制器、将工作站另存为查看器的选项和 RobotStudio 选项，如图 1-1 所示。



图 1-1 RobotStudio 主界面

(2) “基本”功能选项卡，包含搭建工作站、创建系统、编程路径和摆放物体所需的控件，如图 1-2 所示。



图 1-2 “基本”功能选项卡

(3) “建模”功能选项卡，包含创建和分组工作站组件、创建实体、测量以及其他 CAD 操作所需的控件，如图 1-3 所示。

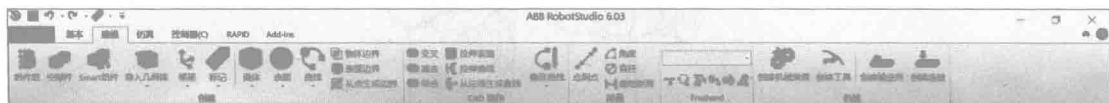


图 1-3 “建模”功能选项卡

(4) “仿真”功能选项卡，包含配置、控制、监控和记录仿真所需的控件，如图 1-4 所示。



图 1-4 “仿真”功能选项卡

(5) “控制器”功能选项卡，包含用于虚拟控制器（VC）的同步、配置、监视，还包含用于管理真实控制器的控制功能，如图 1-5 所示。



图 1-5 “控制器”功能选项卡

(6) RAPID 功能选项卡，包括 RAPID 编辑器的功能、RAPID 文件的管理以及用于 RAPID 编程的其他控件，如图 1-6 所示。



图 1-6 RAPID 功能选项卡

(7) “Add - Ins”功能选项卡，包含 RobotApps、安装文件包和迁移 RobotWare 的相关控件，如图 1-7 所示。



图 1-7 “Add - Ins”功能选项卡

1.3.4 工件坐标介绍

工件是拥有特定附加属性的坐标系，它主要用于简化编程（因置换特定任务和工件进程等而需要编辑程序时）。工件坐标系必须定义于两个框架，即用户框架（与大地基座相关）和工件框架（与用户框架相关）。创建工件可用于简化对工件表面的微动控制。可以创建若干不同的工件，这样就必须选择一个用于微动控制的工件，如图1-8所示。

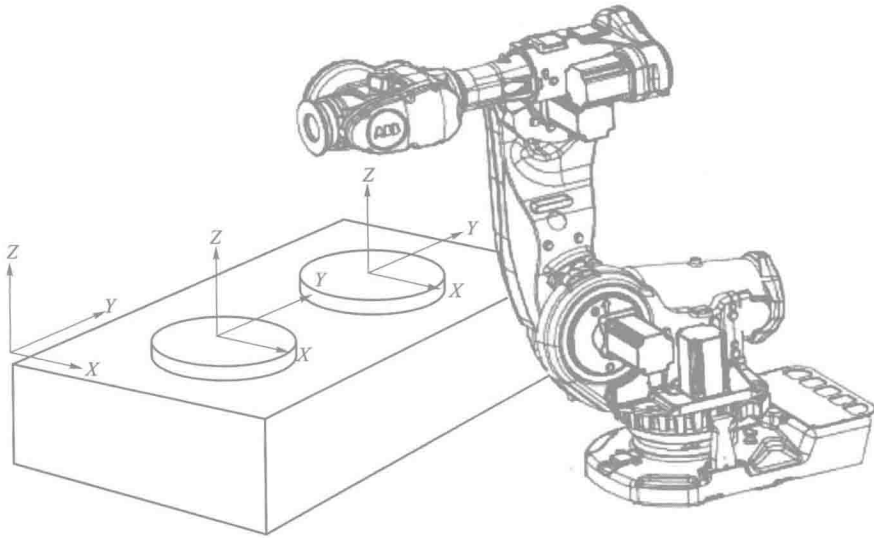


图1-8 工件坐标

用户坐标系框架，如图1-9所示。

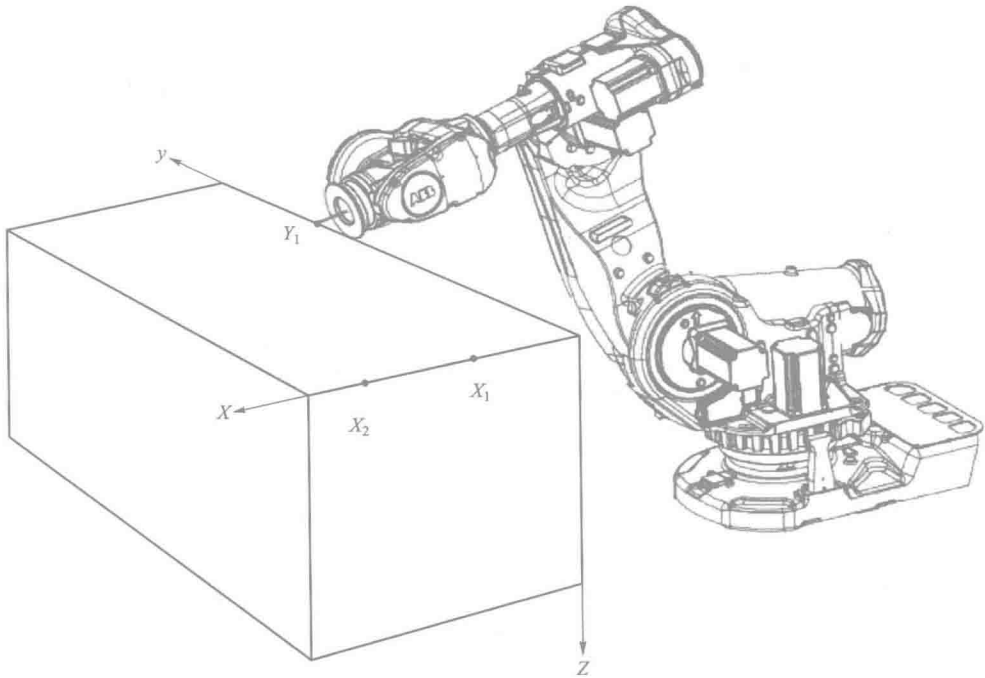


图1-9 用户坐标系框架

工件坐标系框架，如图 1-10 所示。

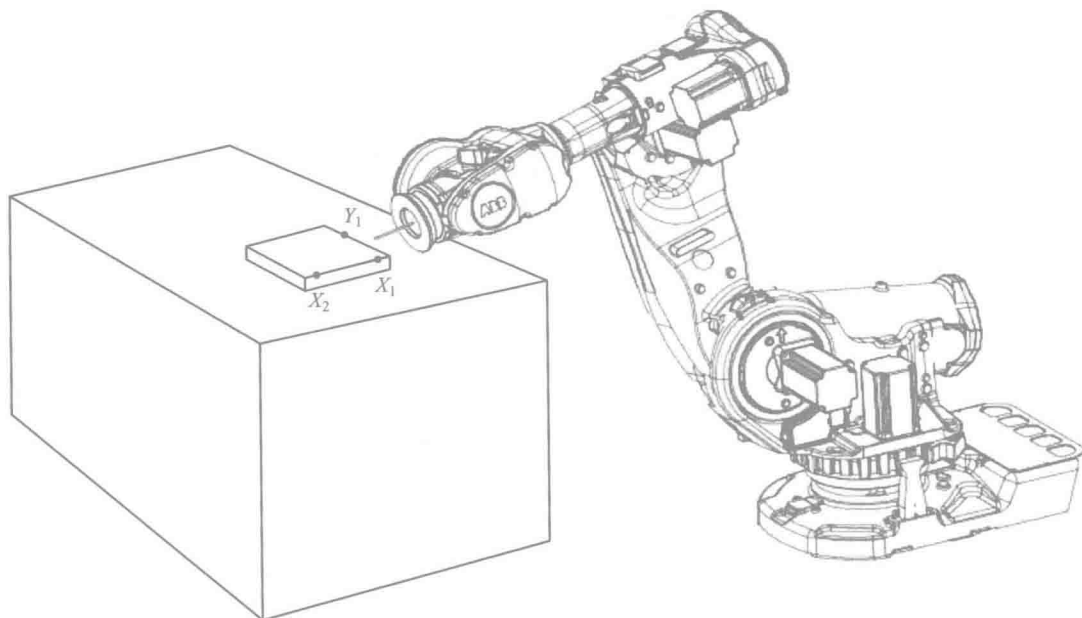


图 1-10 工件坐标系框架

RobotStudio 创建工件对话框参数，如表 1-1 所列。

表 1-1 RobotStudio 创建工件对话框参数

名称	描述
机器人握住工件	选择机器人是否握住工件。如果选择 True，机器人将握住工件。工具可以是固定工具也可以被其他机器人握住
被机械单元移动	选择移动工件的机械单元。只有在编程被设为 False 时，此选项才可用
编程	如果工件坐标用作固定坐标系，请选择 True；如果用作移动坐标系（即外轴），则选择 False
位置 X 、 Y 、 Z	单击这些框之一，然后在图形窗口中单击相应的点，并将点的值传送至位置框内
旋转 r_x 、 r_y 、 r_z	指定工件坐标在 UCS 中的旋转
取点创建框架	指定用户坐标框架的位置
位置 X 、 Y 、 Z	单击这些框之一，然后在图形窗口中单击相应的点，并将点的值传送至位置框内
旋转 r_x 、 r_y 、 r_z	指定工件坐标的旋转
取点创建框架	指定工件坐标的位置
存储类型	选择 PERS 或 TASK PERS。如果打算在 Multimove 模式下使用工作对象，请选择存储类型 TASK PERS
模块	选择要声明工件坐标的模块

用三点法创建框架对话框参数，如表 1-2 所列。

表 1-2 三点法创建框架对话框参数

名称	描述
x 轴上的第一点	单击这些框之一，然后在图形窗口中单击相应的点位置，将值传送至 x 轴上的第一个点框
x 轴上的第二点	单击这些框之一，然后在图形窗口中单击相应的点位置，将值传送至 x 轴上的第二个点框
y 轴上的点	单击这些框之一，然后在图形窗口中单击相应的点位置，将值传送至 y 轴上的点框

1.3.5 利用 ABB RobotStudio 软件进行目标点示教

要示教目标点，应执行以下操作步骤。

- (1) 在布局浏览器中，选择示教目标点要使用的工件坐标和工具数据。
- (2) 以微动方式让机器人运动至首选位置（要使机器人线性微动，必须运行其 VC）。
- (3) 单击示教目标点。
- (4) 一个新的目标的点将创建并显示在浏览器上。在图形窗口中，一个坐标系将创建在 TCP 位置上。机器人在该目标点上的配置将被保存。

1.4 任务实现

任务 1 在计算机上安装 RobotStudio 软件

解压 RobotStudio_6.03 压缩包，如图 1-11 所示。

 RobotStudio_6.03 2016/4/11 14:22 WinZip 文件 2,034,859 KB

图 1-11 RobotStudio_6.03 压缩包

解压完成后，打开文件夹，双击 setup 即可对软件进行安装，如图 1-12 所示。

 setup 2016/3/29 13:21 应用程序 1,580 KB

图 1-12 双击 setup 文件

为了确保 RobotStudio 安装后能够运行，应注意以下事项。

- (1) 计算机的系统配置建议，如表 1-3 所列。