

高等教育工业机器人课程实操推荐教材

RobotWare 6.0

工业机器人 实操与应用技巧

第2版

叶晖 等 编著



免费资源：微信扫一扫
获取PPT课件、
视频配套资源



微信公众号：robotpartnerweixin

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

工业机器人课程实操推荐教材

工业机器人实操与应用技巧

第2版

叶 晖 禹鑫燧 何智勇 肖步崧 魏志丽 编 著



机械工业出版社

本书基于 ABB 工业机器人操作系统 RobotWare6.0 以上版本,围绕着从认识到熟练操作 ABB 工业机器人,能够独立完成工业机器人的基本操作,以及根据实际应用进行基本编程这一主题,通过详细的图解实例对 ABB 工业机器人的操作、编程相关的方法与功能进行讲述,让读者了解与操作和编程作业相关的每一项具体操作方法,从而使读者对 ABB 工业机器人的软件、硬件方面有全面的认识。赠送教学 PPT 课件,请联系微信公众号 robotpartnerweixin 或扫描封面二维码获取。

本书适合从事 ABB 工业机器人应用的操作与编程人员,特别是刚接触 ABB 工业机器人的工程技术人员,以及普通高校和高职院校工业机器人及机电一体化相关专业学生。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人实操与应用技巧/叶晖等编著. —2 版. —北京:机械工业出版社,

2017.7 (2018.1 重印)

高等教育工业机器人课程实操推荐教材

ISBN 978-7-111-57493-4

I. ①工… II. ①叶… III. ①工业机器人—高等学校—教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 176089 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍

责任校对:刘秀芝 封面设计:陈 沛

责任印制:常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2018 年 1 月第 2 版第 2 次印刷

184mm×260mm·22 印张·495 千字

3001—7000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-57493-4

定价:59.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前言

生产力的不断进步推动了科技的进步与革新，建立了更加合理的生产关系。自工业革命以来，人力劳动已经逐渐被机械所取代，而这种变革为人类社会创造出了巨大的财富，极大地推动了人类社会的进步。时至今日，机电一体化、机械智能化等技术应运而生。人类充分发挥出了主观能动性，进一步增强了对机械的利用效率，使之为我们创造出了更加巨大的生产力，并在一定程度上维护了社会的和谐。工业机器人的出现是人类在利用机械进行社会生产史上的一个里程碑。在发达国家中，工业机器人自动化生产线成套设备已成为自动化装备的主流及未来的发展方向。国外汽车行业、电子电器行业、工程机械等行业已经大量使用工业机器人自动化生产线，以保证产品质量，提高生产效率，同时避免了大量的工伤事故。全球诸多国家近半个世纪的工业机器人的使用实践表明，工业机器人的普及是实现自动化生产、提高社会生产效率、推动企业和社会生产力发展的有效手段。

全球领先的工业机器人制造商 ABB 致力于研发、生产机器人已有 40 多年的历史，是工业机器人的先行者，拥有全球超过 30 多万台机器人的安装经验，在瑞典、挪威和中国等地设有机器人研发、制造和销售基地。ABB 于 1969 年售出全球第一台喷涂机器人，于 1974 年发明了世界上第一台工业机器人，并拥有当今种类较多、较全面的机器人产品、技术和服务，以及较大的机器人装机量。

在本书中，以 ABB 工业机器人为案例对象，就如何正确使用与操作工业机器人进行了详细的讲解，力求让读者对 ABB 工业机器人的操作有一个全面的了解。本书是第 2 版，主要更新了以下两个方面：第一，根据过去 7 年广大读者的反馈意见，对第 1 版错误的内容进行了修正，并按照项目式的方式进行内容的重新组织，更加贴近实际的使用需要；第二，ABB 工业机器人硬件与软件也发生了重大的升级，相关的内容也在第 2 版中进行了更新。第 2 版的描述是基于 ABB 工业机器人操作系统 RobotWare6.0 以上版本。书中的内容简明扼要、图文并茂、通俗易懂，适合从事工业机器人操作，特别是刚刚接触 ABB 工业机器人的工程技术人员阅读参考。全书由叶晖、禹鑫燧、何智勇、肖步崧、魏志丽编著。中国 ABB 机器人市场部为本书的撰写提供了许多宝贵意见，在此表示感谢。尽管编著者主观上想努力使读者满意，但在书中肯定还会有不尽人意之处，欢迎读者提出宝贵的意见和建议。

编著者

目录

前言

项目 1 了解工业机器人和学习准备	1
任务 1-1 工业机器人的现状与趋势	1
任务 1-2 掌握工业机器人的典型结构	2
任务 1-3 掌握用好 ABB 工业机器人的要求	4
任务 1-4 掌握 ABB 工业机器人安全的注意事项	6
任务 1-5 构建基础练习用的工业机器人虚拟工作站	7
学习测评	16
练习题	16
项目 2 工业机器人的拆包与安装	17
任务 2-1 工业机器人拆包装的操作	17
任务 2-2 清点工业机器人标准装箱物品	19
任务 2-3 工业机器人本体与控制柜安装	20
任务 2-4 工业机器人本体与控制柜电气连接	21
学习测评	25
练习题	25
项目 3 工业机器人的基本操作	26
任务 3-1 认识示教器——配置必要的操作环境	26
任务 3-2 查看 ABB 工业机器人常用信息与事件日志	32
任务 3-3 ABB 工业机器人数据的备份与恢复	33
任务 3-4 ABB 工业机器人的手动操纵	39
任务 3-5 ABB 工业机器人转数计数器的更新操作	51
学习测评	58
练习题	59
项目 4 ABB 工业机器人的 I/O 通信	60
任务 4-1 认识 ABB 工业机器人 I/O 通信的种类	61
任务 4-2 认识常用 ABB 标准 I/O 板	63
任务 4-3 实战 ABB 标准 I/O 板——DSQC651 板的配置	70
任务 4-4 I/O 信号的监控与操作	99
任务 4-5 PROFIBUS 适配器的连接	106
任务 4-6 PROFINET 适配器的连接	112
任务 4-7 系统输入/输出与 I/O 信号的关联	116
任务 4-8 示教器可编程按键的使用	123

任务 4-9 安全保护机制的设置	126
学习测评	137
练习题	137
项目 5 ABB 工业机器人的程序数据	138
任务 5-1 认识程序数据	138
任务 5-2 建立程序数据的操作	139
任务 5-3 程序数据的类型分类与存储类型	143
任务 5-4 常用程序数据说明	146
任务 5-5 三个关键程序数据的设定	151
学习测评	175
练习题	175
项目 6 ABB 工业机器人程序编写实战	176
任务 6-1 理解什么是任务、程序模块和例行程序	176
任务 6-2 掌握常用的 RAPID 编程指令	179
任务 6-3 建立一个可以运行的基本 RAPID 程序	202
任务 6-4 掌握中断程序 TRAP	226
任务 6-5 创建带参数的例行程序	235
任务 6-6 功能 FUNCTION 的使用	239
任务 6-7 RAPID 程序指令与功能讲解	249
学习测评	260
练习题	260
项目 7 ABB 工业机器人典型应用调试实战	261
任务 7-1 ABB 工业机器人轨迹应用的调试	261
任务 7-2 ABB 工业机器人典型搬运应用的调试	293
任务 7-3 ABB 工业机器人安装调试一般步骤	313
学习测评	314
练习题	315
项目 8 ABB 工业机器人进阶功能	316
任务 8-1 系统信息查看	316
任务 8-2 工业机器人系统重启的操作	322
任务 8-3 认识服务例行程序	325
任务 8-4 掌握 ABB 工业机器人随机手册的查阅	337
学习测评	343
练习题	343

项目 1 了解工业机器人和学习准备



任务目标

- 了解工业机器人的现状与趋势
- 掌握工业机器人的典型结构
- 掌握用好 ABB 工业机器人的要求
- 掌握 ABB 工业机器人的安全注意事项
- 构建基础练习用的工业机器人虚拟工作站

任务 1-1 工业机器人的现状与趋势



工作任务

- 了解工业机器人的特点
- 了解工业机器人发展的现状与趋势

工业机器人是集机械、电子、控制、传感、人工智能等多学科先进技术于一体的自动化装备。自 1956 年机器人产业诞生后，经过 60 年的发展，工业机器人已经被广泛应用在装备制造、新材料、生物医药、智慧新能源等高新产业。机器人与人工智能技术、先进制造技术和移动互联网技术的融合发展，推动了人类社会生活方式的变革。

工业机器人最显著的特点如下：

(1) 可编程 生产自动化的进一步发展是柔性自动化。工业机器人可随其工作环境变化的需要而再编程，因此它在小批量、多品种、具有均衡高效率的柔性制造过程中能发挥很好的功用，是柔性制造系统中的一个重要组成部分。

(2) 拟人化 工业机器人在机械结构上有类似人的行走、转腰、大臂、小臂、手腕、手爪等部分，在控制上有计算机。此外，智能化工业机器人还有许多类似人类的“生物传感器”，如皮肤型接触传感器、力传感器、负载传感器、视觉传感器、声觉传感器、语言功能等。传感器提高了工业机器人对周围环境的自适应能力。

(3) 通用性 除了专门设计的专用工业机器人外，一般工业机器人在执行不同的作业

任务时具有较好的通用性。比如,更换工业机器人手部末端操作器(手爪、工具等)便可执行不同的作业任务。

工业机器人的定义随着科技的不断发展,也在不断完善,未来的5至10年将是工业机器人中国市场的爆发期,业界对此普遍持乐观态度。在中国廉价劳动力优势逐渐消失的背景下,“机器换人”已是大势所趋。面对机器人产业诱人的大蛋糕,中国各地都行动了起来,机器人企业、机器人产业园如雨后春笋般层出不穷,都积极投身这场“掘金战”中。

任务 1-2 掌握工业机器人的典型结构



工作任务

➤ 掌握工业机器人的典型结构

1. 直角坐标工业机器人(图 1-1)

直角坐标工业机器人一般做2~3个自由度运动,每个运动自由度之间的空间夹角为直角,可实现自动控制,可重复编程,所有的运动均按程序运行。直角坐标工业机器人一般由控制系统、驱动系统、机械系统、操作工具等组成。直角坐标工业机器人因操作工具的不同,功能也不同,具有高可靠性、高速度和高精度的特点,可工作在恶劣的环境下,可长期工作,且便于操作和维修。

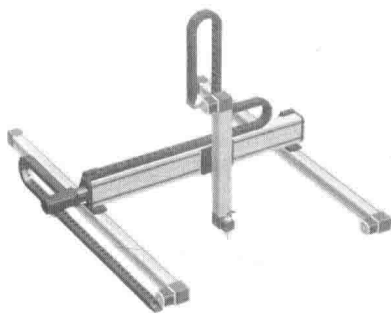


图 1-1 直角坐标工业机器人

2. 平面关节型工业机器人(图 1-2)

平面关节型工业机器人又称为 SCARA 工业机器人,是圆柱坐标工业机器人的一种形式。SCARA 工业机器人有三个旋转关节,其轴线相互平行,在平面内进行定位和定向;还有一个移动关节,用于完成末端件在垂直于平面的运动。SCARA 工业机器人精度高,动作范围较大,坐标计算简单,结构轻便,响应速度快,但负载较小。

SCARA 系统在 X、Y 轴方向上具有顺从性,而在 Z 轴方向具有良好的刚度,此特性特别适合装配工作,例如将一个圆头针插入一个圆孔,SCARA 系统首先大量用于装配印

制电路板和电子零部件；SCARA 的另一个特点是其串接的两杆结构类似人的手臂，可以伸进有限空间中作业然后收回，适合搬动和取放物件，如集成电路板等。

如今 SCARA 工业机器人广泛应用于塑料工业、汽车工业、电子产品工业、药品工业和食品工业等领域。它的主要职能是拾取零件和装配。它的第一个轴和第二个轴具有转动特性，第三个轴和第四个轴可以根据不同的工作需要，制造成相应的多种不同形态，并且一个具有转动、另一个具有线性移动的特性。由于其具有特定的形状，决定了其工作范围类似于一个扇形区域。



图 1-2 SCARA 工业机器人

3. 并联工业机器人 (图 1-3)

并联工业机器人又称为 DELTA 工业机器人，属于高速、轻载的工业机器人，一般通过示教编程或视觉系统捕捉目标物体，由三个并联的伺服轴确定夹具中心 (TCP) 的空间位置，实现目标物体的运输、加工等操作。DELTA 工业机器人主要用于食品、药品和电子产品等的加工和装配。DELTA 工业机器人以其质量轻、体积小、运动速度快、定位精确、成本低、效率高等特点，正在被广泛应用。

DELTA 工业机器人是典型的空间三自由度并联机构，整体结构精密、紧凑，驱动部分均布于固定平台，这些特点使它具有如下特性：

- 1) 承载能力强、刚度大、自重负荷比小、动态性能好。
- 2) 并行三自由度机械臂结构，重复定位精度高。
- 3) 超高速拾取物品，一秒钟多个节拍。



图 1-3 DELTA 工业机器人

4. 串联工业机器人 (图 1-4)

串联工业机器人拥有 4 个或 4 个以上旋转轴, 其中 6 个轴是最普通的形式, 类似于人类的手臂, 应用于装货、卸货、喷漆、表面处理、测试、测量、弧焊、点焊、包装、装配、切削机床、固定、特种装配操作、锻造、铸造等。

串联工业机器人有很高的自由度, 适合于几乎任何轨迹或角度的工作; 可以自由编程, 完成全自动化的工作, 生产率高, 错误率可控制, 能代替人完成有害身体健康的复杂工作, 比如汽车外壳点焊、金属部件打磨。

本书就是以串联工业机器人作为对象进行讲解的。

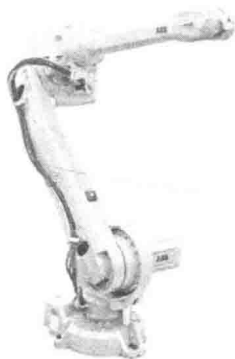


图 1-4 串联工业机器人

5. 协作工业机器人 (图 1-5)

在传统的工业机器人逐渐取代单调、重复性高、危险性强的工作之时, 协作工业机器人也将会慢慢渗入各个工业领域, 与人共同工作。这将引领一个全新的工业机器人与人协同工作时代的来临, 随着工业自动化的发展, 我们发现需要协助型的工业机器人配合人来完成工作任务, 这样比工业机器人的全自动化工作站具有更好的柔性和成本优势。

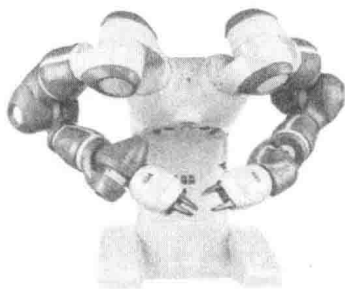


图 1-5 协作工业机器人

任务 1-3 掌握用好 ABB 工业机器人的要求



工作任务

➤ 掌握用好 ABB 工业机器人的要求

工业机器人是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械装置等高新技术的产物, 是技术密集度及自动化程度很高的典型机电一体化加工设备。使用工业机器人的优越性是显而易见的, 不仅精度高、产品质量稳定, 而且自动化程度极高, 可大大减轻工人的劳动强度和提高生产率。特别值得一提的是, 工业机器人可完成一般人工操作难以完成的精密工作, 如激光切割、精密装配等, 因此其在自动化生产中的地位越来越显得重要。但是, 我们要清

醒地认识到,能否达到工业机器人以上所述的优点,还要看操作者在生产中能不能恰当、正确地使用。下面从操作者的角度来谈一下 ABB 工业机器人使用中应注意的事项,以保证工业机器人的优越性得以充分发挥,减少工业机器人因不当操作而损坏的概率。

1. 提高操作人员的综合素质

工业机器人的使用有一定的难度,因为它是典型的机电一体化产品,牵涉的知识面较宽,即操作者应具有机、电、液、气等更宽广的专业知识,因此对操作人员的素质要求很高。目前,一个不可忽视的现象是工业机器人的用户越来越多,但工业机器人利用率还不算高,当然有时是生产任务不饱和,但还有一个更为关键的因素是工业机器人操作人员素质不够高,碰到一些问题不知如何处理。这就要求使用者具有较高的素质,能冷静对待问题,头脑清醒,现场判断能力强,当然还应具有较扎实的自动化控制技术基础等。一般情况下,新购工业机器人时,设备提供商会为用户提供技术培训的机会,虽然时间不长,但针对性很强,用户应予以重视,参加人员应包括以后的工业机器人操作员以及维修人员。操作人员综合素质的提高不是一两天的事情,而是要抓长久,在日后的使用中应不断积累。还有一个值得一试的办法是走访一些工业机器人同类应用的老用户,他们有很强的实践经验,最有发言权,可请求他们的帮助,让他们为操作员以及维修人员进行一定的培训,这是短时间内提高操作人员综合素质最有效的办法。

2. 遵循正确的操作规程

不管什么应用的工业机器人,它都有一套自己的操作规程。它既是保证操作人员安全的重要措施之一,也是保证设备安全、产品质量等的重要措施。使用者在初次进行操作时,必须认真地阅读设备提供商提供的使用说明书,按照操作规程正确操作。工业机器人在第一次使用或长期没有使用时,应先慢速手动操作其各轴进行运动(如有需要时,还要进行机械原点的校准),这些对初学者来说尤其应引起重视。

3. 尽可能提高工业机器人的开动率

工业机器人购进后,如果它的开动率不高,不但使用户投入的资金不能起到再生产的作用,而且很可能因过保修期,设备发生故障需要支付额外的维修费用。在保修期内尽量多地发现问题,平常缺少生产任务时,也不能空闲不用。如果工业机器人长期不用,可能会由于受潮等原因加快电子元器件的变质或损坏,并出现机械部件的锈蚀问题。使用者要定期通电,空运行 1h 左右。正所谓生命在于运动,机器也适用这一道理。

4. 如何学好本书的知识点

本书是以一位工业机器人初学者的视角去展开的,所以在开始阅读本书的时候,可以根据自己对 ABB 工业机器人的掌握情况进行。

1) 如果你对工业机器人是从零开始的话,请从项目 1 开始阅读并根据里面的操作提示一步步地进行学习。

2) 如果你已掌握 ABB 工业机器人的基本操作,则可以通过阅读目录选择所感兴趣的章节进行阅读。

在阅读的过程中遇到任何问题,可以参考技术支持微课堂:<http://jqr.ke.qq.com>。

任务 1-4 掌握 ABB 工业机器人安全的注意事项



工作任务

- 掌握工业机器人操作的安全注意事项
- 能识别工业机器人在操作过程的危险因素

操作工业机器人或工业机器人系统时应遵守的安全原则和规程如下。

关闭总电源!

在进行工业机器人的安装、维修和保养时,切记要将总电源关闭。带电作业可能会产生致命性后果。如不慎遭高压电击,可能会导致心搏停止、烧伤或其他严重伤害。

与机器人保持足够安全距离!

在调试与运行工业机器人时,它可能会执行一些意外的或不规范的运动。并且,所有的运动都会产生很大的力量,从而严重伤害个人和/或损坏工业机器人工作范围内的任何设备。所以应时刻保持与工业机器人足够的安全距离。

静电放电危险!

ESD(静电放电)是电势不同的两个物体间的静电传导,它可以通过直接接触传导,也可以通过感应电场传导。搬运部件或部件容器时,未接地的人员可能会传导大量的静电荷。这一放电过程可能会损坏敏感的电子设备。所以在有此标识的情况下,要做好静电放电防护。

紧急停止!

紧急停止优先于任何其他工业机器人控制操作,它会断开工业机器人电动机的驱动电源,停止所有运转部件,并切断由工业机器人系统控制且存在潜在危险的功能部件的电源。出现下列情况时请立即按下任意紧急停止按钮。

- 1) 工业机器人运行中,工作区域内有工作人员。
- 2) 工业机器人伤害了工作人员或损伤了机器设备。

灭火!

发生火灾时,请确保全体人员安全撤离后再行灭火。应首先处理受伤人员。当电气设备(例如工业机器人或控制器)起火时,应使用二氧化碳灭火器。切勿使用水或泡沫。

工作中的安全!

工业机器人速度慢,但是很重并且力度很大。运动中的停顿或停止都会产生危险。即使可以预测运动轨迹,但外部信号有可能改变操作,会在没有任何警告的情况下,产生意想不到的运动。

因此,当进入保护空间时,务必遵循所有的安全条例。

- 1) 如果在保护空间内有工作人员,请手动操作工业机器人系统。
- 2) 当进入保护空间时,请准备好示教器 FlexPendant,以便随时控制工业机器人。
- 3) 注意旋转或运动的工具,例如切削工具和锯。确保在接近工业机器人之前,这些工具已经停止运动。
- 4) 注意工件和工业机器人系统的高温表面。工业机器人电动机长期运转后温度很高。
- 5) 注意夹具并确保夹好工件。如果夹具打开,工件会脱落并导致人员伤害或设备损坏。夹具非常有力,如果不按照正确方法操作,也会导致人员伤害。
- 6) 注意液压、气压系统以及带电部件。即使断电,这些电路上的残余电量也很危险。

❗ 示教器的安全!

示教器 FlexPendant 是一种高品质的手持式终端,它配备了一流的高灵敏度电子设备。为避免操作不当引起的故障或损害,请在操作时遵循以下说明。

- 1) 小心操作。不要摔打、抛掷或重击 FlexPendant。这样会导致破损或故障。在不使用该设备时,将它挂到专门存储它的支架上,以便不会意外掉到地上。
- 2) FlexPendant 的使用和存储应避免被人踩踏电缆。
- 3) 切勿使用锋利的物体(例如螺钉旋具或笔尖)操作触摸屏。这样可能会使触摸屏受损。应用手指或触摸笔(位于带有 USB 端口的 FlexPendant 的背面)来操作示教器触摸屏。
- 4) 定期清洁触摸屏。灰尘和小颗粒可能会挡住屏幕造成故障。
- 5) 切勿使用溶剂、洗涤剂或擦洗海绵清洁 FlexPendant。应使用软布蘸少量水或中性清洁剂清洁。
- 6) 没有连接 USB 设备时务必盖上 USB 端口的保护盖。如果端口暴露到灰尘中,那么它会中断或发生故障。

❗ 手动模式下的安全!

在手动减速模式下,工业机器人只能减速(250mm/s 或更慢)操作(移动)。只要在安全保护空间之内工作,就应始终以手动速度进行操作。

在手动全速模式下,工业机器人以程序预设速度移动。手动全速模式应仅用于所有人员都位于安全保护空间之外时,且操作人员必须经过特殊训练,深知潜在的危险。

❗ 自动模式下的安全!

自动模式用于在生产中运行工业机器人程序。在自动模式操作情况下,常规模式停止(GS)机制、自动模式停止(AS)机制和上级停止(SS)机制都将处于活动状态。

任务 1-5 构建基础练习用的工业机器人虚拟工作站



工作任务

- 正确安装好 RobotStudio 虚拟仿真软件

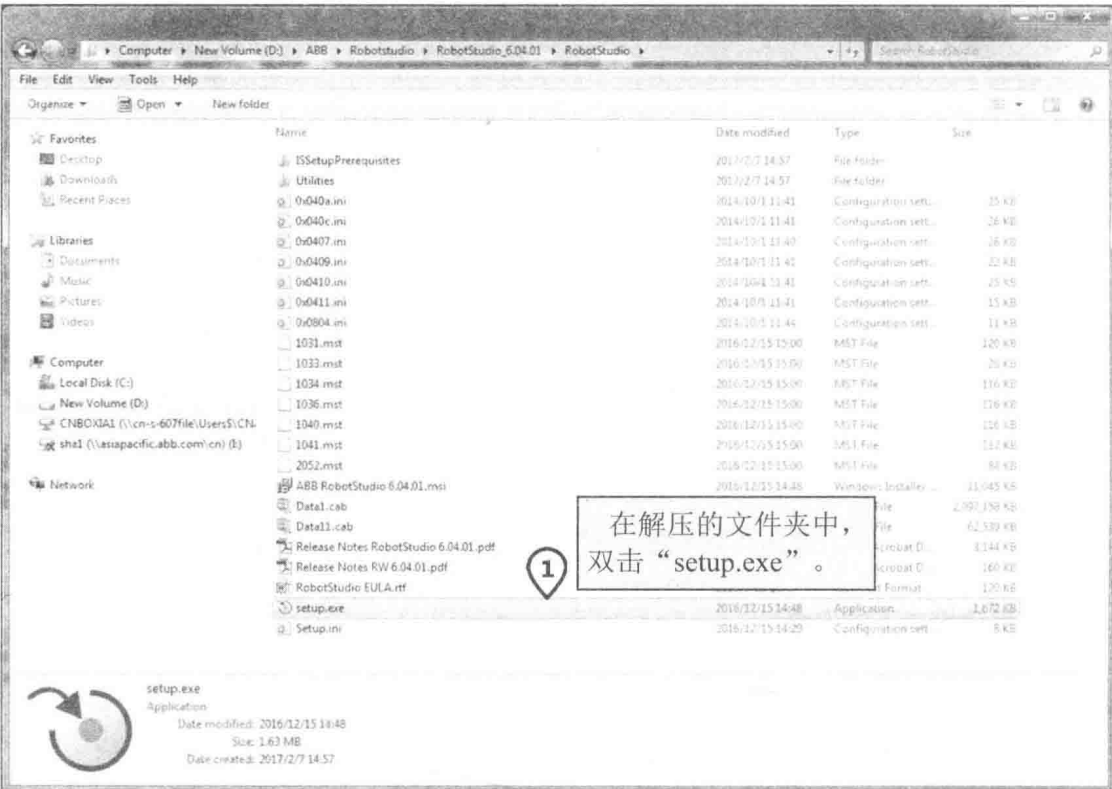
➤ 在 RobotStudio 中新建一个虚拟工业机器人

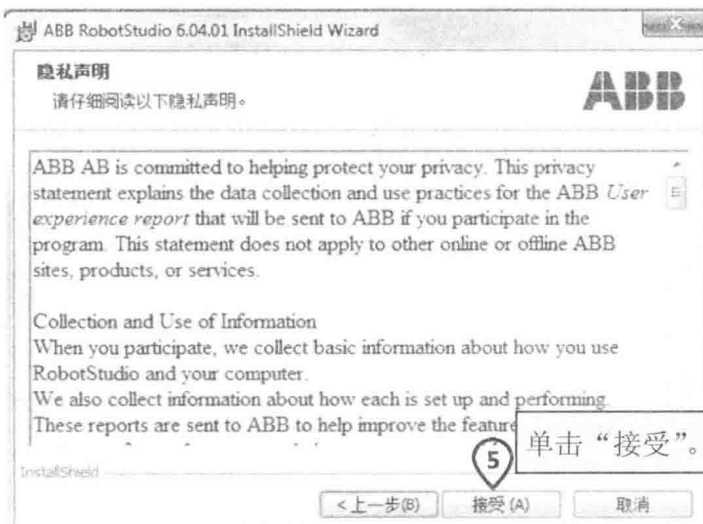
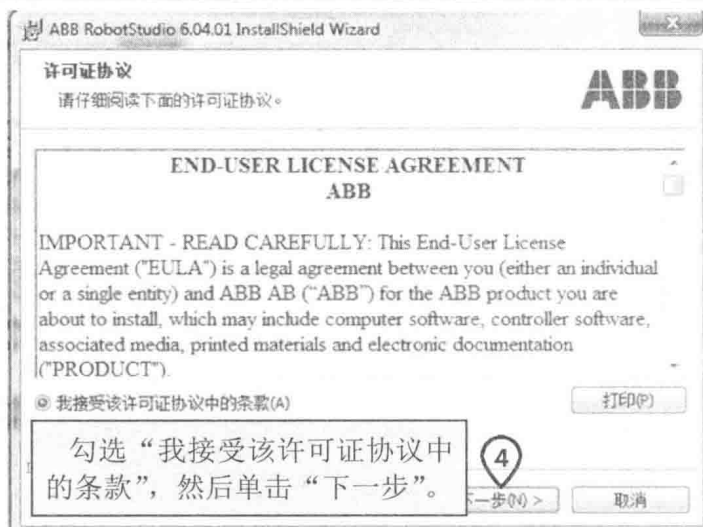
1. 安装 RobotStudio 虚拟仿真软件

获得 RobotStudio 软件的渠道有：

- 1) www.robotstudio.com。
- 2) 关注微信公众号 robotpartnerweixin，或扫一扫本书封面的二维码。
- 3) 本书随书光盘中。

下载好 RobotStudio 并进行解压后就可以按照以下的流程进行安装了。







2. 在 RobotStudio 中新建一个虚拟工业机器人

