

普通高等教育机电类规划教材

工业机器人

应用基础

◎ 张宪民 杨丽新 黄沿江 编著

Foundations and
Applications of
Industrial Robotics



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育机电类规划教材

工业机器人应用基础

张宪民 杨丽新 黄沿江 编著

（机械工业出版社）



机械工业出版社

本书以目前高等院校中常用的几种工业机器人为例介绍其基本操作,设计了教学中易于实施的实践练习,使读者在实际操作和应用中学会工业机器人的基本操作方法,并加深对机器人原理的认识。

本书分为6章,包括绪论、工业机器人的结构原理、示教编程器、工业机器人的编程、示教与再现以及典型应用案例。

本书可作为机械工程和自动化专业本科生、大专生相关课程的实验实训教材,以及企业中使用、操作机器人的技术人员的培训教材,也可为设计和研究机器人的技术人员提供较全面、必要的应用基础知识。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人应用基础/张宪民,杨丽新,黄沿江编
著. —北京:机械工业出版社,2015.8
普通高等教育机电类规划教材
ISBN 978-7-111-51059-8

I. ①工… II. ①张…②杨…③黄… 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(2015)第178975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:舒恬 责任编辑:舒恬
版式设计:赵颖喆 责任校对:胡艳萍 陈秀丽
封面设计:张静 责任印制:乔宇
北京京丰印刷厂印刷
2015年8月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·9.25印张·225千字
标准书号:ISBN 978-7-111-51059-8
定价:22.00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

随着全球工业化和经济的持续发展,我国已成为制造业大国,制造业的发展程度与我国国民经济的发展息息相关。作为制造产业链中的基础装备,工业机器人是国家制造能力和自动化水平的突出体现,是国防安全和国民经济的重要保障。工业机器人集机械、电子、控制、传感以及计算机技术等多领域知识于一体,广泛应用于制造业,对我国制造业的大力发展和综合国力的提高具有十分重要的现实意义。

近年来,越来越多的国内企业在生产中采用了工业机器人,各种机器人生产厂家的销售量都有大幅度的提高。国际机器人联合会的一组数据显示,2013年我国新增机器人3.7万台,约占全球销量的1/5,总销量超过日本,已成为全球第一大机器人市场。我国已有400多家工业机器人制造企业和系统集成企业,但其中88%是系统集成企业,全产业链机器人制造商还不多。中高端驱动器、减速器、控制器等核心元器件还需从国外进口。可以预见,中国的工业机器人产业将会在国民经济中占据重要的地位,工业机器人技术也正因为吸引了越来越多的不同专业背景的科研技术人员开展深入研究。

目前,关于机器人方面的专著、教材普遍偏于理论,而关于实际操作和应用的知识只能依赖于各种商业机器人产品的用户手册。理论与实践应用的严重脱节已成为制约工业机器人广泛应用的瓶颈。因此,编写一本兼顾理论与实践操作的工业机器人教材就显得十分必要了。

本书侧重于工业机器人的操作实践和应用,通过对几种主流工业机器人基本操作的分析介绍和实践练习,可使读者在实际操作和应用中学会工业机器人的基本原理,以达到触类旁通的目的。编者希望通过这样的学习模式,为读者从事工业机器人应用和研究打下良好的基础。

本书由华南理工大学张宪民教授主审并统稿,杨丽新老师和黄沿江博士完成了书稿的主要编写工作。陈婵媛、王如意等为书稿付出了辛勤的劳动。同时,本教材参考了大量教材、专著、论文、网络文献等资料,在此,编者对各位原编著者表示衷心的感谢。但书中所列文献难免有所遗漏,对此编者敬请同行指正,以便再版时及时修订。

由于编者学识有限,书中难免有疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

《工业机器人应用基础》

张宪民 杨丽新 黄沿江 编著

读者信息反馈表

尊敬的老师：

您好！感谢您多年来对机械工业出版社的支持和厚爱！为了进一步提高我社教材的出版质量，更好地为我国高等教育发展服务，欢迎您对我社的教材多提宝贵意见和建议。另外，如果您在教学中选用了本书，欢迎您对本书提出修改建议和意见。

机械工业出版社教育服务网网址：<http://www.cmpedu.com>

一、基本信息

姓名：_____ 性别：_____ 职称：_____ 职务：_____

邮编：_____ 地址：_____

任教课程：_____

电话：_____（H）_____（O）

电子邮件：_____ 手机：_____

二、您对本书的意见和建议

（欢迎您指出本书的疏误之处）

三、对我们的其他意见和建议

请与我们联系：

100037 机械工业出版社·高等教育分社 舒恬 收

电话：010—88379217 传真：010—68997455

电子邮件：shutianCMP@gmail.com

目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 工业机器人的定义	1
1.2 工业机器人的发展	2
1.2.1 国外工业机器人的发展	2
1.2.2 国内工业机器人的发展	2
1.3 工业机器人的应用	3
1.4 安全操作规程	4
第 2 章 工业机器人的结构原理	6
2.1 机械手	6
2.1.1 机械手的自由度	6
2.1.2 机械手的坐标系	7
2.1.3 机械手的组成	10
2.1.4 机械手的分类	12
2.1.5 机械手的主要技术参数	14
2.2 驱动系统	17
2.3 控制系统	23
2.3.1 工业机器人控制系统的特点	23
2.3.2 工业机器人控制系统的分类	24
2.3.3 机器人控制系统的组成	25
2.3.4 机器人控制系统的结构	26
2.3.5 典型控制柜系统	28
第 3 章 示教编程器	32
3.1 机器人示教系统的原理、分类及特点	32
3.2 机器人示教器的组成	34
3.3 机器人示教器的功能	35
3.4 主流工业机器人示教器功能	35
3.4.1 ABB 公司机器人示教器功能	35
3.4.2 KUKA 机器人示教器功能	37
3.4.3 OTC 机器人示教器功能	42
3.4.4 MOTOMAN 机器人示教器功能	53
3.4.5 FANUC 机器人示教器功能	62
第 4 章 工业机器人的编程	65
4.1 工业机器人编程语言	65
4.2 编程语言系统的基本功能	66
4.3 工业机器人编程指令	66
4.3.1 运动指令	67
4.3.2 信号处理指令	67
4.3.3 流程控制指令	68
4.3.4 数学运算指令	69
4.3.5 逻辑运算指令	70
4.3.6 文件管理指令	70
4.3.7 声明数据变量指令	71
4.3.8 数据编辑指令	72
4.3.9 操作符	73
4.3.10 文件结构	74
第 5 章 示教与再现	76
5.1 示教再现原理	76
5.2 示教再现操作方法	77
第 6 章 典型应用案例	82
6.1 ABB 自动装配系统	82
6.1.1 ABB 自动装配系统简介	82
6.1.2 ABB 自动装配系统示教再现过程	82
6.2 KUKA 焊接机器人	100
6.2.1 KUKA 焊接机器人简介	100
6.2.2 KUKA 焊接机器人示教再现过程	100
6.3 OTC 搬运系统	102
6.3.1 OTC 搬运系统简介	102
6.3.2 OTC 搬运系统示教再现过程	102
6.4 MOTOMAN 视觉运输系统	106
6.4.1 MOTOMAN 视觉运输系统简介	106
6.4.2 MOTOMAN 视觉运输系统示教再现过程	106



附录	112	附录 D MOTOMAN 常用指令表	126
附录 A ABB 常用指令表	112	附录 E ABB 自动装配系统案例	
附录 B KUKA 常用指令表	119	程序	129
附录 C OTC 常用指令表	119	参考文献	140

第 1 章 绪 论

1.1 工业机器人的定义

工业机器人一般指在工厂车间环境中配合自动化生产的需要，代替人来完成材料的搬运、加工、装配等操作的一种机器人。能代替人完成搬运、加工、装配功能的工作可以是各种专用的自动机器，但是使用机器人则是为了利用它的柔性自动化功能以达到最高的技术经济效益。有关工业机器人的定义有许多不同说法，通过比较这些定义，可以对工业机器人的主要功能有更深入的了解。

1. 日本工业机器人协会（JIRA）对工业机器人的定义

工业机器人是“一种装备有记忆装置和末端执行装置的、能够完成各种移动来代替人类劳动的通用机器”。它又分以下两种情况来定义：

- 1) 工业机器人是“一种能够执行与人的上肢类似动作的多功能机器”。
- 2) 智能机器人是“一种具有感觉和识别能力，并能够控制自身行为的机器”。

2. 美国机器人协会（RIA）对工业机器人的定义

机器人是“一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的，通过程序动作来执行各种任务，并具有编程能力的多功能操作机”。

3. 国际标准化组织（ISO）对工业机器人的定义

机器人是“一种自动的、位置可控的、具有编程能力的多功能操作机，这种操作机具有几个轴，能够借助可编程操作来处理各种材料、零件、工具和专用装置，以执行各种任务”。

以上定义的工业机器人实际上均指操作型工业机器人。实际工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度的机器人。工业机器人是自动执行工作的机器装置，是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。它可以接受人类指挥，也可以按照预先编排的程序运行，现代的工业机器人还可以根据人工智能技术制定的原则纲领行动。为了达到其功能要求，工业机器人的功能组成中应该有以下部分：

- 1) 为了完成作业要求，工业机器人应该具有操作末端执行器的能力，并能正确控制其空间位置、工作姿态及运动程序和轨迹。
- 2) 能理解和接受操作指令，并把这种信息化了的指令记忆、存储，并通过其操作臂各关节的相应运动复现出来。
- 3) 能和末端执行器（如夹持器或其他操作工具）及其他周边设备（加工设备、工位器具等）协调工作。



1.2 工业机器人的发展

1.2.1 国外工业机器人的发展

美国是机器人的诞生地。早在1961年，美国的 Consolidated Control Corp 和 AMF 公司就联合研制了第一台实用的示教再现机器人。经过40多年的发展，美国的机器人技术在国际上一直处于领先地位，其技术全面、先进，适应性也很强。

日本在1967年从美国引进第一台机器人。1976年以后，随着微电子的快速发展和市场需求急剧增加，日本当时劳动力显著不足，工业机器人在企业里受到了极大欢迎，使日本工业机器人得到快速发展。现在无论机器人的数量还是机器人的密度，日本都位居世界第一，素有“机器人王国”之称。

德国引进机器人的时间虽然比英国和瑞典大约晚了五六年，但战争所导致的劳动力短缺、国民的技术水平较高等社会环境，为工业机器人的发展、应用提供了有利条件。此外，德国规定，对于一些危险、有毒、有害的工作岗位，必须以机器人来代替普通人的劳动，这为机器人的应用开拓了广泛的市场，并推动了工业机器人技术的发展。目前，德国工业机器人的总数位居世界第二位，仅次于日本。

法国政府一直比较重视机器人技术，通过大力支持一系列研究计划，建立了一套完整的科学技术体系，使法国机器人的发展比较顺利。在政府组织的项目中，特别注重机器人基础技术方面的研究，把重点放在开展机器人的基础研究上；应用和开发方面的工作则由工业界支持开展。两者相辅相成，使机器人在法国企业界得以迅速发展和普及，从而使法国在国际工业机器人界拥有不可或缺的一席之地。

英国从20世纪70年代末开始，推行并实施了一系列支持机器人发展的政策，使英国工业机器人起步比当今的机器人大国日本还要早，并取得了早期的辉煌。然而，这时候政府对工业机器人实行了限制发展的错误措施，导致英国的机器人工业一蹶不振，在西欧几乎处于末位。

近些年，意大利、瑞典、西班牙、芬兰、丹麦等国家由于国内对机器人的大量需求，发展也非常迅速。

目前，国际上的工业机器人公司主要分为日系和欧系。日系中主要有 Yaskawa、OTC、松下、FANUC 等公司的产品，欧系中主要有德国的 KUKA 和 CLOOS、瑞典的 ABB、意大利的 COMAU 及奥地利的 IGM 等公司的产品，其部分产品如图 1-1 ~ 图 1-4 所示。

1.2.2 国内工业机器人的发展

我国工业机器人起步于20世纪70年代初期，经过40多年发展，大致经历了4个阶段：70年代的萌芽期，80年代的开发期、90年代的应用期和21世纪的发展期。随着20世纪70年代世界科技快速发展，工业机器人的应用在世界上掀起了一个高潮。在这种背景下，我国于1972年开始研制自己的工业机器人。进入20世纪80年代后，随着改革开放的不断深入，在高新技术浪潮的冲击下，我国机器人技术的开发与研究得到了政府的重视与支持。“七五”期间，国家投入资金，对工业机器人及零部件进行攻关，完成了示教再现式工业机器人成套



技术的开发，研制出了喷漆、点焊、弧焊和搬运机器人。尤其是国家高技术研究发展计划（863 计划）开始实施之后，取得了一大批科研成果，成功地研制出了一批特种机器人。



图 1-1 ABB IRB 120 型机器人

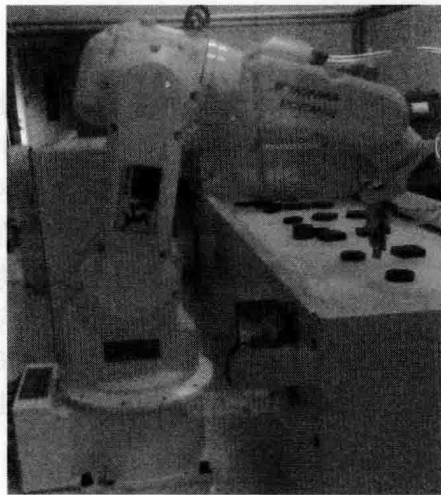


图 1-2 Yaskawa MH3F 型机器人

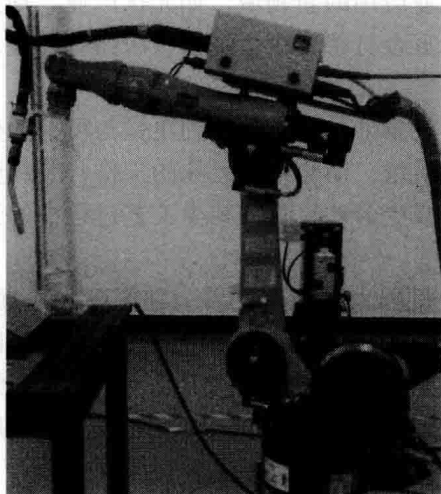


图 1-3 KUKA KR16 型机器人



图 1-4 OTC NV62-NCFN 型机器人

从 20 世纪 90 年代初期起，我国的国民经济进入了实现两个根本转变期，掀起了新一轮的经济体制改革和技术进步热潮。我国的工业机器人在实践中又迈进了一大步，先后研制了点焊、弧焊、装配、喷漆、切割、搬运和码垛等各种用途的工业机器人，并实施了一批机器人应用工程，形成了一批工业机器人产业化基地，为我国机器人产业的腾飞奠定了基础。但是，与发达国家相比，我国工业机器人还有很大差距。

1.3 工业机器人的应用

随着工业机器人发展的深度和广度以及机器人智能水平的提高，工业机器人已在众多领



域得到了应用。目前,工业机器人已广泛应用于汽车及汽车零部件制造业、机械加工行业、电子电气行业、橡胶及塑料工业、食品工业、木材与家具制造业等领域中。在工业生产中,弧焊机器人、点焊机器人、分配机器人、装配机器人、喷漆机器人及搬运机器人等工业机器人都已被大量应用。

汽车制造是一个技术和资金高度密集的产业,也是工业机器人应用最广泛的行业,占到整个工业机器人的一半以上。在我国,工业机器人最初也是应用于汽车和工程机械行业中。在汽车生产中,工业机器人是一种主要的自动化设备,在整车及零部件生产的弧焊、点焊、喷涂、搬运、涂胶、冲压等工艺中大量使用。据预测,我国正在进入汽车拥有率上升的时期,机器人在我国汽车行业的应用将得到快速发展。

工业机器人除了在汽车行业的广泛应用,在电子、食品加工、非金属加工、日用消费品和木材家具加工等行业的需求也快速增长。机器人在石油方面也有广泛的应用,如海上石油钻井、采油平台、管道的检测、炼油厂、大型油罐和储罐的焊接等均可使用机器人来完成。

在未来几年,传感技术、激光技术、工程网络技术将会被广泛应用在工业机器人工作领域,这些技术会使工业机器人的应用更为高效、高质,运行成本更低。

我国工业机器人已开始关注新兴行业,在一般工业应用的新领域,如光伏产业、动力电池制造业,食品工业及化纤、玻璃纤维、砖瓦制造、五金打磨、冶金浇铸、医药等行业,都有工业机器人代替人工的环节和空间。

总之,工业机器人的广泛应用,可以逐步改善劳动条件,使企业得到更强与可控的生产能力,加快产品更新换代,提高生产效率和保证产品质量,消除枯燥无味的工作,节约劳动力,提供更安全的工作环境,降低工人的劳动强度,减少劳动风险,减少工艺过程中的工作量及降低停产时间,有利于提高企业竞争力。

在我国,工业机器人市场份额大部分被国外工业机器人企业占据着。在国际强手面前,国内的工业机器人企业面临着相当大的竞争压力。如今我国正从一个制造大国向制造强国迈进,中国制造业面临着与国际接轨、参与国际分工的巨大挑战,对我国工业自动化水平的提高迫在眉睫,政府势必会加大对机器人的资金投入和政策支持,会给工业机器人产业发展注入新的动力。

1.4 安全操作规程

机器人系统复杂而且危险性大,任何时间进入机器人运动所及的区域都可能导致严重的伤害,因此,在操作过程中必须注意安全,遵守相应安全操作规程。

1. 示教和手动机器人

- 1) 请不要戴手套操作示教盘和操作盘。
- 2) 在点动操作机器人时要采用较低的倍率速度以加强对机器人的控制。在编程、测试及维修时必须注意,即使在低速运行时,机器人动量也很大,必须将机器人置于手动模式。
- 3) 在按下示教盘上的点动键之前要考虑到机器人的运动趋势。
- 4) 手动模式下,不用移动机器人及运行程序时,必须及时释放使能器。
- 5) 要预先考虑好避让机器人的运行轨迹,并确认该轨迹不受干涉。机器人处于自动模



式时，不允许进入其运行所及的区域。

6) 机器人周围区域必须清洁，无油、水及杂质等。

2. 生产运行

1) 在开机运行前，必须知道机器人根据所编程序将要执行的全部任务。

2) 必须知道所有会影响机器人移动的开关、传感器和控制信号的位置与状态。

3) 必须知道机器人控制器和外围控制设备上的紧急停止按钮的位置，准备在紧急情况下按这些按钮。急停开关不允许被短接。

4) 不要误认为机器人停止不动时其程序就已经完成，因为这时机器人很有可能是等待让它继续运动的输入信号。

5) 在得到停电通知时，要预先关断机器人的主电源及气源。

6) 突然停电后，要赶在来电之前预先关闭机器人的主电源开关，并及时取下夹具上的工件。

3. 不可使用工业机器人的场合

1) 燃烧的环境。

2) 有爆炸可能的环境。

3) 无线电干扰的环境。

4) 水中或其他液体中。

5) 运送人或动物时。

6) 需攀附的场合。



第2章 工业机器人的结构原理

工业机器人一般由机械本体（机械手）、驱动系统和控制系统三个基本部分组成（见图2-1），是一种仿人操作、自动控制、可重复编程、能在三维空间完成各种作业的机电一体化的自动化生产设备。本体即机座和执行机构，包括臂部、腕部和手部，部分机器人还有行走机构。大多数工业机器人有3~6个运动自由度，其中腕部通常有1~3个运动自由度；驱动系统包括动力装置和传动机构，用以使执行机构产生相应的动作；控制系统是按照输入的程序对驱动系统和执行机构发出指令信号，并进行控制。

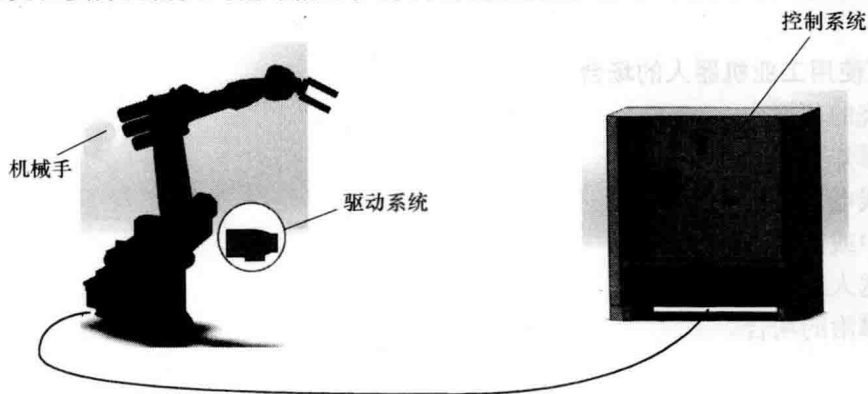


图2-1 工业机器人基本组成

2.1 机械手

2.1.1 机械手的自由度

自由度也称坐标轴数，是指描述物体运动所需要的独立坐标数。

1. 刚体的自由度

物体上任何一点都与坐标轴的正交集有关。物体能够对坐标系进行独立运动的数目称为自由度（Degree of Freedom, DOF）。物体所能进行的运动（见图2-2）包括：

沿着坐标轴 OX 、 OY 和 OZ 的三个平移运动 T_1 、 T_2 和 T_3 。

绕着坐标轴 OX 、 OY 和 OZ 的三个旋转运动 R_1 、 R_2 和 R_3 。

这意味着物体能够运用三个平移和三个旋转，相对于坐标系定向运动。

一个简单物体有六个自由度。当两个物体间确立起某种关系时，每一物体就对另一物体失去一些自由度。这种关系也可以用两物体间由于建立连接关系而不能进行的移动或转动来表示。

2. 机器人的自由度

人们期望机器人能够以准确的方位把它的端部执行装置或与它连接的工具移动到给定



点。机器人机械手的手臂一般具有三个自由度，其他的自由度数为末端执行装置所具有。如图2-3所示，机械手是由六个转轴组成的空间六杆开链机构，有三个基轴（轴1、轴2、轴3）和三个臂轴（轴4、轴5、轴6），六个自由度，即分别为沿X轴、Y轴、Z轴的平移和绕X轴、Y轴、Z轴的转动。理论上可达到运动范围内空间任何一点。

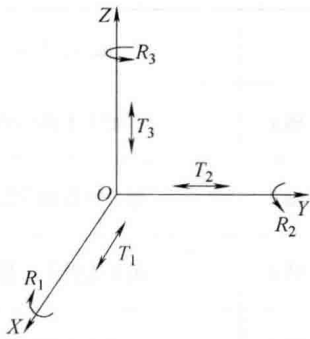


图2-2 刚体运动的六个自由度

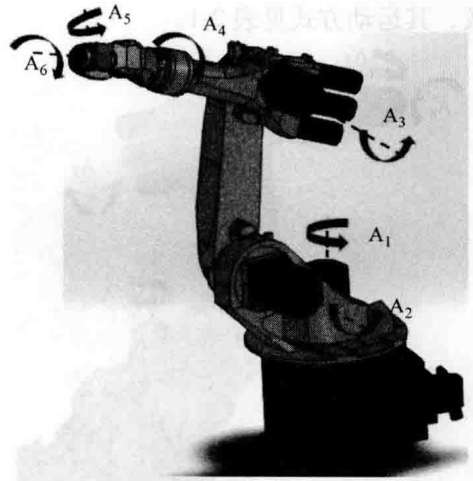


图2-3 机器人的自由度

2.1.2 机械手的坐标系

机器人是由运动轴和连杆组成的，而其运动方式是在不同的坐标系下进行的，为了掌握机器人的示教方法，应首先了解机器人的坐标系及各运动轴在不同坐标系下的运动。如图2-4所示，在大部分商用机器人系统中，主要有关节坐标系、绝对坐标系（直角坐标系）、圆柱坐标系、工具坐标系和用户坐标系。机器人根据不同的作业轨迹要求在这五种坐标系下运动。

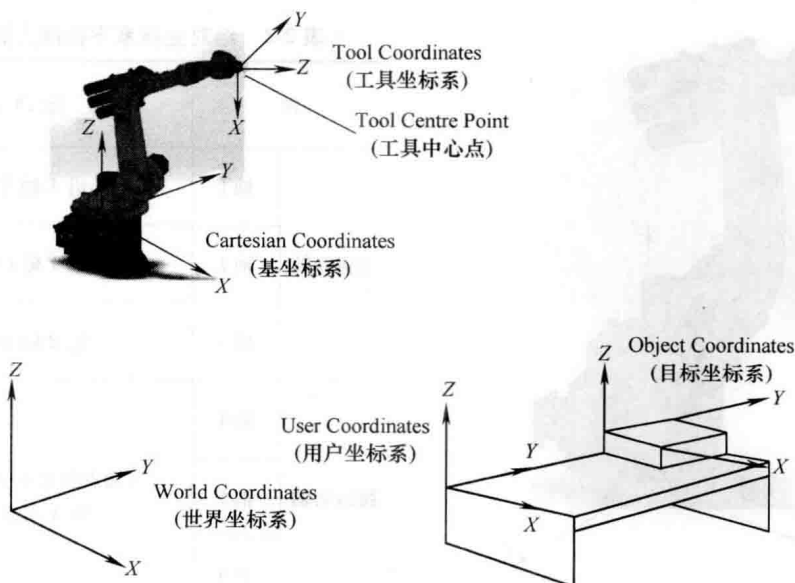


图2-4 机器人坐标系



1. 关节坐标系

机器人由多个运动关节组成，机械手的每一个轴都可以进行独立的操作，各个关节都可以独立运动，如图 2-5 所示。对运动范围大且不要求机器人末端姿态的情况，建议选用关节坐标系。在关节坐标系下，每个轴可单独运动，通过示教器上相应的键控制机器人的各个轴示教，其运动方式见表 2-1。

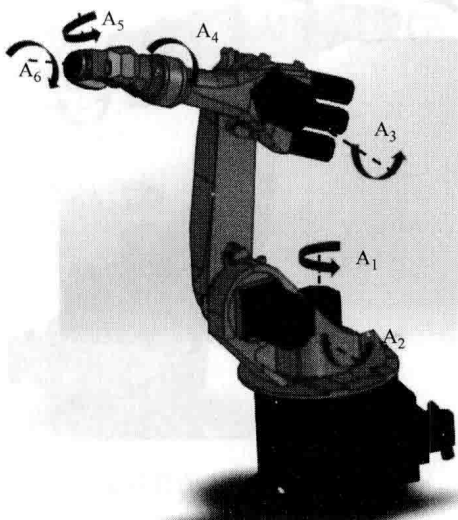


图 2-5 关节坐标系下各个轴的运动

表 2-1 关节坐标系下机器人的运动方式

轴		运动方式
主运动轴	轴 1	轴 1 本体回转
	轴 2	轴 2 下臂前后摆动
	轴 3	轴 3 上臂上下摆动
腕运动轴	轴 4	轴 4 上臂回转
	轴 5	轴 5 手腕上下摆动
	轴 6	轴 6 手腕回转

2. 绝对坐标系

如图 2-6 所示，绝对坐标系的原点定义为机器人的安装面和第一转动轴的交点。X 轴向前，Z 轴向上，Y 轴按右手规则定义。在绝对坐标系下，机器人末端轨迹沿定义的 X、Y、Z 方向运动，其运动方式见表 2-2。

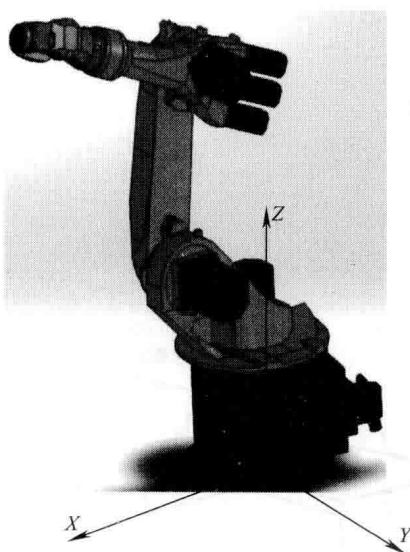


图 2-6 工业机器人绝对坐标系

表 2-2 绝对坐标系下机器人的运动方式

轴		运动方式
主运动轴	轴 1	沿 X 轴方向运动
	轴 2	沿 Y 轴方向运动
	轴 3	沿 Z 轴方向运动
腕运动轴	轴 4	末端点位置不变, 机器人分别绕 X、Y、Z 轴转动
	轴 5	
	轴 6	



3. 圆柱坐标系

圆柱坐标系的原点与绝对坐标系的相同， Z 轴向上， θ 方向为本体轴1转动方向， r 轴平行于本体轴2，如图2-7所示。其运动方式见表2-3。

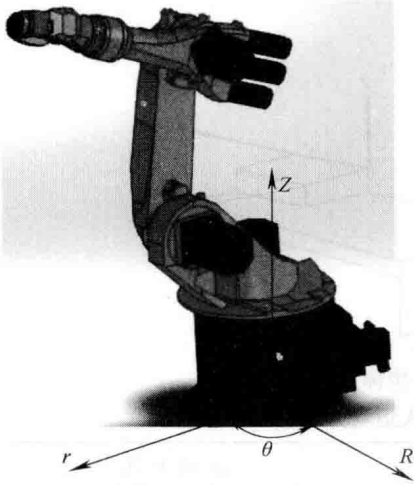


图2-7 工业机器人圆柱坐标系

表2-3 圆柱坐标系下机器人的运动方式

轴		运动方式
主运动轴	θ 轴	绕轴1转动
	r 轴	垂直 Z 轴运动
	轴3	沿 Z 轴方向运动
腕运动轴	轴4	末端点位置不变,机器人分别绕 X 、 Y 、 Z 轴转动
	轴5	
	轴6	

4. 工具坐标系

工具坐标系定义在工具尖，并且假定工具的有效方向为 Z 轴， X 轴垂直于工具平面， Y 轴由右手规则产生，如图2-8所示。

在工具坐标系中，机器人末端轨迹沿工具坐标的 X 、 Y 、 Z 轴方向运动，机器人的运动方式见表2-4。

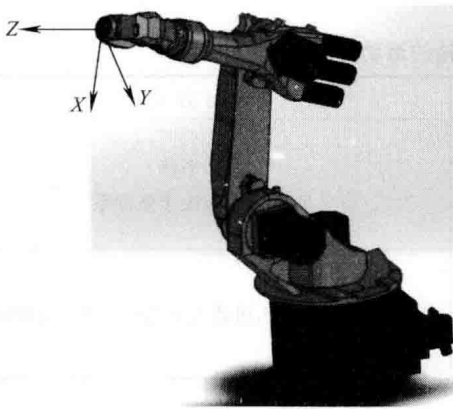


图2-8 工具坐标系及各轴的运动

表2-4 工具坐标系下机器人的运动方式

轴		运动方式
主运动轴	六轴联动	沿 X 轴方向运动
		沿 Y 轴方向运动
		沿 Z 轴方向运动
腕运动轴	末端点位置不变,机器人分别绕 X 、 Y 、 Z 轴转动	

5. 用户坐标系

用户坐标系是用户根据工作的需要，自行定义的坐标系，用户可根据需要定义多个坐标系，如图2-9所示。

在用户坐标系下，机器人末端轨迹沿用户自己定义的坐标轴方向运动，其运动方式见表2-5。

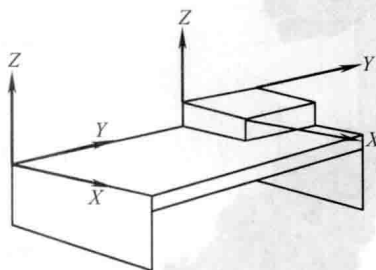
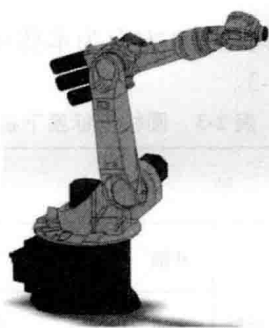


图 2-9 工业机器人用户坐标系

表 2-5 用户坐标系下机器人运动方式

轴		运动方式
主运动轴	六轴联动	沿用户定义的 X 轴方向运动
		沿用户定义的 Y 轴方向运动
		沿用户定义的 Z 轴方向运动
腕运动轴	末端点位置不变, 机器人分别绕 X、Y、Z 轴转动	

TCP（工具控制点）固定功能：除了关节坐标系外，在其他坐标系下都有 TCP 固定功能，即在工具控制点位置保持不变的情况下，只改变工具的方向（姿态）。在 TCP 固定功能下各轴的运动方式见表 2-6。

表 2-6 TCP 固定功能下各轴的运动方式

轴		运动方式
主运动轴	轴 1	TCP 平移 运动方向取决于坐标系
	轴 2	
	轴 3	
腕运动轴	轴 4	末端点位置不变, 机器人分别绕 X、Y、Z 轴转动
	轴 5	
	轴 6	

注：在不同坐标系下腕运动轴的转动方向是不同的。

2.1.3 机械手的组成

工业机器人机械本体即机械手包括手部、手腕、手臂和立柱等部件，有的还增设行走机构。

1. 手部

手部指机器人上与工件接触的部件。由于与工件接触的形式不同，可分为夹持式和吸附式两类。夹持式手部由手指（或手爪）和传力机构所构成。手指是与物件直接接触的构件。