



工业机器人应用技术系列核心教材

工业 机器人 基础

Gongye Jiqiren Jichu

主 编 李俊文 钟 奇

副主编 梅 伶 刘志刚

主 审 许 勇



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



工业机器人应用技术系列核心教材

工业机器人基础

主 编 李俊文 钟 奇
副主编 梅 伶 刘志刚
主 审 许 勇



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工业机器人基础/李俊文, 钟奇主编. —广州: 华南理工大学出版社, 2016. 10
(2017. 5 重印)

工业机器人应用技术系列核心教材

ISBN 978 - 7 - 5623 - 5122 - 1

I. ①工… II. ①李… ②钟… III. ①工业机器人 - 高等职业教育 - 教材
IV. ①TP242. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 257223 号

工业机器人基础

李俊文 钟 奇 主编

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

http: //www. scutpress. com. cn E-mail: scutc13@scut. edu. cn

营销部电话: 020 - 87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 毛润政

责任编辑: 毛润政

印 刷 者: 广东省农垦总局印刷厂

开 本: 787mm × 960mm 1/16 印张: 6.5 字数: 140 千

版 次: 2016 年 10 月第 1 版 2017 年 5 月第 2 次印刷

定 价: 23.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

序 言

作为智能制造产业的核心装备，工业机器人以其稳定、高效、低故障率等众多优势正越来越多地代替人工劳动，成为我国加工制造业转型、提高生产效率、推动企业和社会生产力快速发展的有效手段。随着国家在机器人产业政策上给予的倾斜和支持，工业机器人技术水平得到了很大提升，工业机器人的应用逐渐普及，我国的工业机器人产业链也在规模和层次上高速发展。

工业机器人本身是集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科先进技术于一体的自动化设备。工业机器人的操作、调试、维修人员需要掌握多方面的知识和技能，才能充分发挥机器人的功能，确保其正常、可靠运行，社会也需要越来越多的具有不同专业背景的从事机器人研发的技能型人才。

为加速培养工业机器人专业人才，国内许多院校已开设机器人专业课程，但目前这方面的图书大多没有清晰的应用技术指向，也未能系统地介绍工业机器人实际操作和应用技术的多方面内容。在此背景下，我们组织企业技术人员和院校骨干教师共同编写了“工业机器人应用技术系列核心教材”，以服务于工业机器人应用技术专业的核心课程体系。

本套教材具有实用性和系统性的鲜明特点：它基于自动化、机电一体化等专业开设工业机器人课程；针对数控实习进行改革创新，引入了工业机器人实训项目；结合企业应用和师资培训需求编写教材，构建了工业机器人教学信息化平台，为课程体系建设提供了必要的系统性支撑。

本系列教材包括七种：《工业机器人基础》《工业机器人电气安装》《工业机器人人机界面与示教编程》《工业机器人程序设计》《工业机器人使用与维护》《工业机器人工作站系统与应用》和《工业机器人设计应用实例》。未来还计划继续扩充。本套教材以“强化实操、实用、够用”为目的，把教、学、示、做等各环节有机地结合起来，加强对学生实操能力的培养，让学生在“做中学，学中做”，满足当前企业对机器人应用维护技术人员的强烈需求。

本系列教材内容的选取符合学生的认知规律，教学过程中可以根据各自实际情况适当裁剪，以满足不同基础与层次学生学习的需要。为方便教学，本系列教材均配有免费的电子教学课件和实训指导书。

在教材的研讨、编写过程中，我们得到了学校领导和相关院系的大力支持和帮助，一些校外工业机器人研发、生产企业的专家们也给予了我们许多具体、实际的帮助和指导，如广州园大智能设备有限公司的贾海英，广州数控设备有限公司的许志才、林松、黄钊，深圳市英太教育科技有限公司的黄太寿等，在此向他们表示衷心的感谢。

工业机器人应用技术系列核心教材编委会
2016年9月

前 言

工业机器人作为先进制造业中不可替代的重要装备和手段，已经成为衡量一个国家制造水平和科技水平的重要标志。随着《中国制造2025》规划的落实与推进，工业机器人的应用将越来越广泛，需求越来越大，其技术研究与发展越来越深入，这将极大地提高社会生产效率，提升工业产品质量，为社会创造巨大的财富。学习工业机器人的相关知识，培养学生掌握工业机器人操作、编程及制造的相应技能，是推动工业机器人事业发展的关键一步，也是为面向未来培养现代化人才所必须的。

广东技术师范学院天河学院工业机器人研究团队通过合力攻关，完成了多款工业机器人的设计、制造与调试，已经应用于工业企业中，并在大量实践基础上，组织专业人员编写了本书，以满足广大读者学习与掌握工业机器人相关知识的需求。

本书由各专业人员共同编写，具有如下特点：

- (1) 以实践研究的工业机器人为实例进行讲解，针对性强，通俗易懂。
- (2) 以基础知识为主要内容，简明扼要地阐述了工业机器人的概念、原理、结构。
- (3) 注重知识的实用性，对工业机器人各重要组成部分在讲清原理的基础上，通过大量实例予以印证，让读者更加容易掌握。
- (4) 对关键环节的讲解，尽量列出有应用于工业机器人领域的知识、设备与器材，具有设计参考价值。
- (5) 全书结构紧凑，不同章节的知识相互连贯，能完整体现出工业机器人的结构与功能。

本书共分6章，分别介绍了工业机器人的基本认识、工业机器人的机械系统、工业机器人的驱动系统、工业机器人的感觉系统、工业机器人的控制系统及工业机器人的编程等知识。各章根据学习规律，合理安排知识结构，让读者可以轻松地学习。

建议本书学习课时为48学时，如果学生基础较薄，还可将课时量增加到60学时，教学中可以根据不同学校的具体情况，进行合理调整。

本书可作为高职高专机电、自动化、机械制造专业的教材，也可作为从事工业机器人工程应用的培训教材，还可以供工程技术人员、工业机器人爱好者学习与参考。

本书由广东技术师范学院天河学院李俊文、钟奇担任主编，梅伶、刘志刚任副主编，具体分工为：第1章工业机器人的基本认识（李俊文）；第2章工业机器人的机械系统（梅伶）；第3章工业机器人的驱动系统（钟奇）；第4章工业机器人的感觉系统（刘志刚）；第5章工业机器人的控制系统（李俊文）；第6章工业机器人的编程（李俊文）。由许勇教授对全书进行审核。在此，向对本书出版有帮助的同仁一并致谢。

由于作者水平有限，不足之处在所难免，恳请广大读者特别是从事工业机器人应用和研究的人员批评指正。

编 者
2016年6月

目 录

第 1 章 工业机器人的基本认识	1
1.1 工业机器人的定义及特点	1
1.2 工业机器人的基本组成及技术参数	2
1.3 工业机器人的分类及应用	8
1.4 工业机器人的发展	13
思考与练习	15
第 2 章 工业机器人的机械系统	16
2.1 工业机器人的手部	16
2.2 工业机器人的手腕	24
2.3 工业机器人的手臂	27
2.4 工业机器人的机身和行走机构	29
2.5 工业机器人机械系统实例	34
思考与练习	35
第 3 章 工业机器人的驱动系统	36
3.1 驱动方式	36
3.2 直线驱动机构	50
3.3 旋转驱动机构	55
3.4 工业机器人驱动系统结构实例	56
思考与练习	56
第 4 章 工业机器人的感觉系统	57
4.1 工业机器人传感器概述	57
4.2 应用在关节的传感器	61

4.3 应用在手部的传感器	66
4.4 环境检测传感器	69
思考与练习	71
第5章 工业机器人的控制系统	72
5.1 工业机器人控制系统的基本组成	72
5.2 工业机器人控制系统的结构形式	74
5.3 工业机器人控制系统的特点及主要功能	77
5.4 工业机器人的控制方式	78
5.5 YDRB3 - B 工业机器人控制系统	79
思考与练习	80
第6章 工业机器人的编程	81
6.1 工业机器人的编程方式	81
6.2 工业机器人语言编程	82
6.3 几种工业机器人语言介绍	85
6.4 工业机器人离线编程	86
思考与练习	90
参考文献	91

第1章

工业机器人的基本认识

机器人本身是一个很大的范畴，本书介绍的知识理论主要针对工业应用上的机器人，其中最为典型的就是常说的机械手，但本书所提供的研究方法、内容等也可应用于其它类型的机器人。

工业机器人的发展与工业自动化的进程紧密相连，推动着生产力的提高和整个社会的发展。工业机器人以为人类服务为目的，促进人类生活的不断改善。

本章主要对工业机器人的定义及特点、组成及技术参数、分类及应用、发展等方面的内容进行介绍，使读者对工业机器人有初步的认识。

1.1 工业机器人的定义及特点

1.1.1 工业机器人的定义

机器人是自动执行工作的机器装置。它既可以接受人类的指挥，又可以运行预先编排的程序，还可以根据以人工智能技术制定的原则纲领执行动作。它的任务是协助或取代人类的工作，例如生产制造业、建筑业，或是危险场合等的工作，主要涉及军事、航天科技、抢险救灾、工业生产、家庭服务等领域。

美国机器人工业协会（U. S. RIA）对工业机器人的定义：工业机器人是用来进行搬运材料、零件、工具等可再编程的多功能机械手，或通过不同程序的调用来完成各种工作任务的特种装置。

我国对工业机器人的定义：工业机器人是一种能自动定位，可重复编程的多功能、多自由度的操作机；它可以搬运材料、零件或夹持工具，用以完成各种作业；它可以受人类指挥，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。

1.1.2 工业机器人的特点

工业机器人一般具有以下四大特征：

（1）拟人功能。工业机器人在机械结构上有与人类相似的部分，比如手爪、手腕、手臂等，这些结构都是通过电脑程序来控制的，能像人一样使用工具。

(2) 可重复编程。工业机器人具有智力或具有感觉与识别能力,可根据其工作环境的变化进行再编程,以适应不同作业环境和动作的需要。

(3) 通用性。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,针对不同的作业任务可通过更换工业机器人手部(也称末端操作器,如手爪或工具等)来实现。

(4) 机电一体化。工业机器人涉及的学科比较广泛,主要是机械学和微电子学的结合,即机电一体化技术。第三代智能机器人不仅具有获取外部环境信息的各种传感器,而且还具有记忆能力、语言能力、图像识别能力等人工智能,这些与微电子技术和计算机技术的应用紧密相连。

综上所述,工业机器人的四大特征,把工业机器人应用于人类的工作和生活等各方面,将给人类工作、生活带来许多方便,因此,可以看出工业机器人具有以下四个方面的优点:

- (1) 减少劳动力费用,减少材料浪费,降低生产成本;
- (2) 增加制造过程的柔性,控制和加快库存的周转;
- (3) 提高生产率,改进产品质量;
- (4) 消除了危险和恶劣工作环境的劳动岗位,保障安全生产。

1.2 工业机器人的基本组成及技术参数

1.2.1 工业机器人的基本组成

工业机器人系统是由工业机器人、作业对象及工作环境共同构成的,包括四大部分:机械系统、驱动系统、控制系统和感觉系统。四大组成部分之间的关系如图1-1所示。

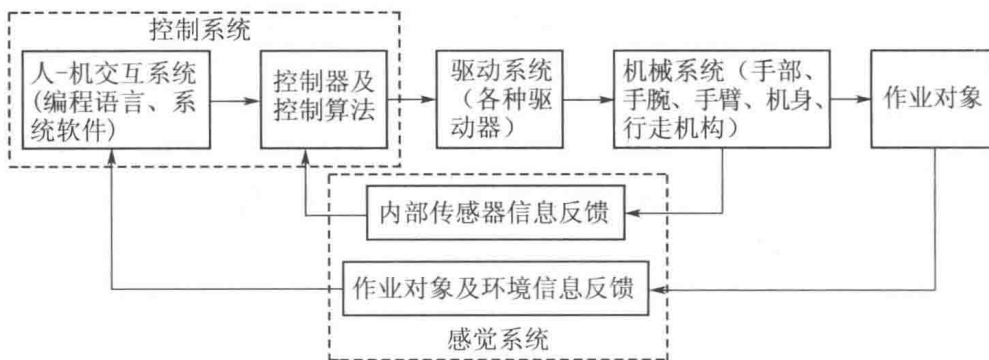


图 1-1 工业机器人系统组成与各部分之间的关系

1. 机械系统

工业机器人的机械系统主要包括手部、手腕、手臂、机身等部分。此外，有的工业机器人还具备行走机构，构成行走机器人。机械系统的每一部分都有若干个自由度，它属于一个多自由度的系统。工业机器人机械系统的设计是工业机器人设计的重要部分，虽然其它系统的设计有各自独立的要求，但必须与机械系统相匹配，才能组成完整的机器人系统。

2. 驱动系统

驱动系统主要指驱动机械系统关节动作的驱动装置。机器人在工作过程中，所做的每一个动作都是通过关节来实现的，因此，必须给各个关节即每个运动自由度安装相应的传动装置。

根据驱动源的不同，驱动系统可分为液压驱动、气压驱动、电气驱动三种，或者将三者结合起来应用的综合系统，可以直接驱动或者通过同步带、链条、谐波齿轮等机械传动机构进行间接驱动。

3. 控制系统

工业机器人要执行的每个动作都是由控制系统决定的。因此，控制系统的作用是根据编写的指令程序以及从传感器反馈回来的信号来支配相应执行机构去完成规定的作业任务。

4. 感觉系统

机器人与外部环境之间的交互作用是通过感觉系统来实现的。感觉系统包括内部传感器和外部传感器两部分，感觉系统在获取工业机器人内部和外部环境信息之后，将这些信息反馈给控制系统。

1.2.2 工业机器人的技术参数

技术参数是各工业机器人厂家在产品供货时所提供的技术数据。由于机器人的种类、结构、用途广泛，且不同的用户对应的要求也不同，因此各厂家所提供的技术参数项目可能不完全一样。但是，机器人的主要技术参数应包括以下五个方面：自由度、精度、工作范围、最大工作速度、承载能力等。

1. 自由度

自由度是指机器人所具有的独立坐标轴运动的数目，不应包括末端操作器的开合自由度。在三维空间坐标中，机器人具有6个自由度，包括 X 、 Y 、 Z 方向的3个移动自由度和3个转动自由度。机器人的一个自由度对应一个关节，进行工业机器人设计时自由度可能小于6个，也可能大于6个，自由度越多就越灵活，但结构也越复杂，控制系统设计的难度就越大，所以根据设计用途要求，自由度选择一般在3~6个之间。

2. 精度

精度是指定位精度和重复定位精度。定位精度是指机器人手部实际到达位置与

目标位置之间的偏差，主要由机械误差、控制算法误差与系统分辨率等部分组成。重复定位精度是指在同等作业环境、同等条件下，机器人重复定位其手部与同一目标位置的分布情况，是关于精度的统计数据，可以用标准偏差这个统计量来表示。

3. 工作范围

工作范围也称为工作区域，是指机器人末端操作器或手腕中心所能到达的所有点的集合。由于工业机器人的种类众多，结构尺寸也有不同差异，因此工作范围与机器人的总体外形结构、动作形式等有关。

4. 最大工作速度

生产机器人的厂家不同，对最大工作速度的定义也不同，有的厂家认为最大工作速度指工业机器人主要自由度上最大的稳定速度，有的厂家认为其应指末端操作器最大的合成速度。最大工作速度越高，工作效率就越高。

5. 承载能力

承载能力是指机器人在工作范围内的任何位置上所能承受的最大质量。它是负载质量与末端操作器质量的总和。承载能力不仅与负载的质量有关，而且还与机器人最大工作速度、加速度的大小和方向等有关。为保证安全，承载能力这一技术指标是指高速运行时的承载能力。

1.2.3 YDRB3 - B 工业机器人介绍

1. YDRB3 - B 工业机器人的组成

图 1-2 所示为广州圆大智能设备有限公司（以下简称“广州圆大”）最新研发的 YDRB3 - B 工业机器人及其组成部分。

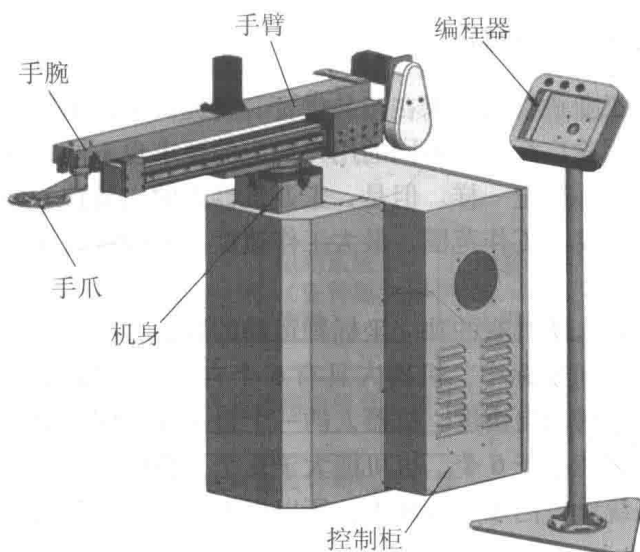


图 1-2 YDRB3 - B 工业机器人的组成

2. YDRB3 - B 工业机器人的自由度

YDRB3 - B 工业机器人为四轴工业机器人，其轴数为4，即具有4个自由度，如图1-3所示。

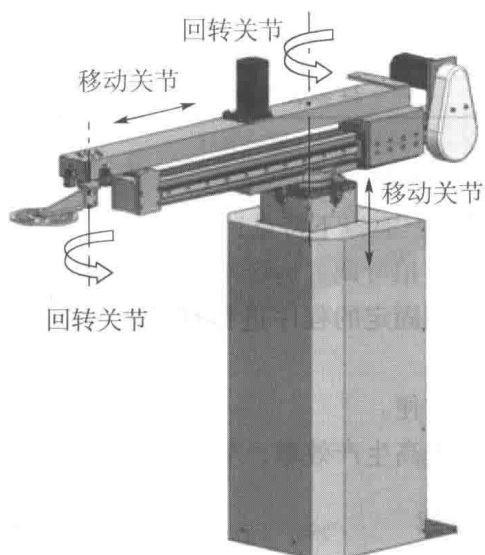


图1-3 YDRB3 - B 工业机器人的4个自由度

3. YDRB3 - B 工业机器人的技术参数

YDRB3 - B 工业机器人的主要技术参数如表1-1所示。

表1-1 YDRB3 - B 工业机器人的主要技术参数

设备基本参数	电 源	AC220
	总功率	2kW
	运动轴数	4
	最大负载	3kg
	重复定位精度	0.2mm
	环境温度	5 ~ 45℃
	相对湿度	≤90%
	安装方式	落地式
	本体重量	150kg
	本体尺寸	860mm × 700mm × 1 500mm

续上表

各轴运动范围	J1 上下行程	0 ~ 400mm
	J2 轴摆动范围	0 ~ 180°
	J3 轴活动半径	680mm ≤ 手臂 ≤ 1250mm
	J4 轴旋转范围	0 ~ 360°

4. YDRB3 - B 工业机器人的特点

YDRB3 - B 工业机器人具有以下特点：

- (1) 定位精确，工作节拍可调，运行平稳可靠。
- (2) 模拟人手动动作，用固定的程序进行抓取产品，可用于搬运物品和控制冲床冲压等。
- (3) 操作简单，维修方便。
- (4) 生产质量稳定，提高生产效率，节约生产成本。

1.2.4 六轴工业机器人介绍

六轴工业机器人比四轴工业机器人多两个关节，一般有 6 个自由度，常见的六轴工业机器人包含旋转（S 轴）、下臂（L 轴）、上臂（U 轴）、手腕旋转（R 轴）、手腕摆动（B 轴）和手腕回转（T 轴），因此它具有更多的“行动自由度”。六轴工业机器人的第一个关节能像四轴工业机器人一样可以在水平面自由旋转，后两个关节能在垂直平面移动。此外，六轴工业机器人有一个“手臂”，两个“腕”关节，这使得它具有与人类的手臂和手腕类似的能力。

1. 六轴工业机器人的特点

与四轴工业机器人相比较，六轴工业机器人具有如下几个方面的优点：

- (1) 可靠性强，正常运行时间长。六轴工业机器人经久耐用，使用零部件数量降至最少，维护间隔时间长。
- (2) 速度快，操作周期短。六轴工业机器人优化了机器人的加减速性能，使机器人工作循环时间降至最短。
- (3) 精度高，零件生产质量稳定。六轴工业机器人具有最佳的轨迹精度和重复定位精度，因此生产的零件质量能保持较高的稳定性。
- (4) 功率大，适用范围广。六轴工业机器人在不同生产领域、作业场合都能适用。
- (5) 灵活耐用，适合恶劣的作业环境。六轴工业机器人的灵活性、稳定性等特点，使得它更适合于恶劣的作业环境完成相应的作业任务。
- (6) 通用性好。六轴工业机器人在柔性化集成和生产方面具有更好的通用性，大大提高了生产效率。

2. KR16 六轴工业机器人的自由度

德国的库卡机器人公司（KUKA Roboter GmbH）生产的机器人是世界上机器人技术领先的代表之一，其中，KR 系列六轴工业机器人应用于各个生产领域，下面以 KR16 六轴工业机器人为例作介绍。

KR16 六轴工业机器人的轴数为 6，即具有 6 个自由度，都为转动自由度，如图 1-4 所示。

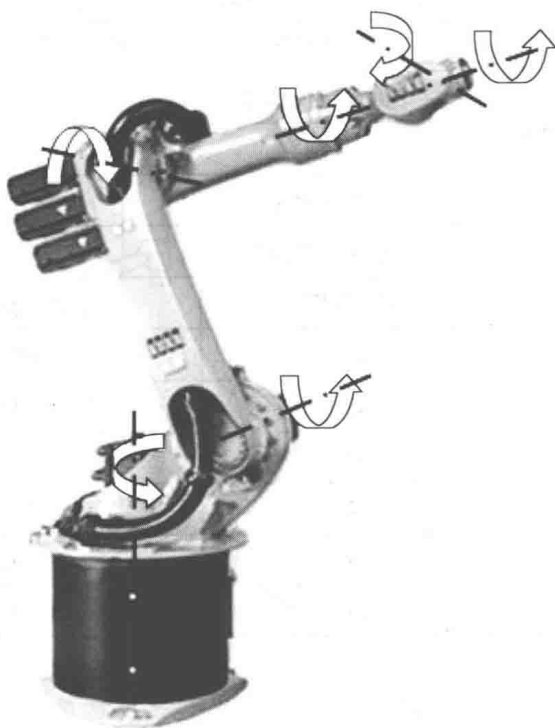


图 1-4 KR16 六轴工业机器人的 6 个自由度

3. KR16 六轴工业机器人的技术参数

KR16 六轴工业机器人的主要技术参数如表 1-2 所示。

表 1-2 KR16 工业机器人的主要技术参数

设备基本参数	负载 (第 6 轴最前端上)	16kg	
	手臂/第 1 轴转盘负载	10/20kg	
	总负载	46kg	
	运动轴数	6	
	法兰盘 (第 6 轴上)	DIN ISO 9409 - 1A50	
	安装位置	地面、墙壁、天花板	
	重复定位精度	+/- 0.05mm	
	控制器	KRC2	
	本体重量	235kg	
	作业空间范围	14.5m ³	
各轴运动参数	各轴名称	运动范围	运动速度
	J1	+/- 185°	156°/s
	J2	+35°/- 155°	156°/s
	J3	+154°/- 130°	156°/s
	J4	+/- 350°	330°/s
	J5	+/- 130°	330°/s
	J6	+/- 350°	615°/s

1.3 工业机器人的分类及应用

1.3.1 按关节在不同坐标形式的组合分类

工业机器人的机械系统部分都是由一系列的连杆通过关节组装起来的。关节决定两相邻连杆副之间的连接关系，也称为运动副。工业机器人最常用的两种关节分别是移动关节 (P) 和回转关节 (R)。

工业机器人的作业环境可以看作是一个三维空间，结合三维空间坐标系，工业机器人的运动实际就是关节沿坐标轴运动。因此工业机器人按关节 P 和 R 在不同坐标形式的组合分类，可分为直角坐标式机器人、圆柱坐标式机器人、球坐标式机器人、关节坐标式机器人四类，如图 1-5 所示。