



高职高专**机电一体化专业**规划教材

机器人概论 及实训

于玲 王建明 主编

张益 副主编



化学工业出版社

高职高专机电一体化专业规划教材

机器人概论及实训

于 玲 王建明 主 编
张 益 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材主要介绍机器人的结构原理和特点、机器人的控制方法以及机器人的应用领域，重点介绍如何控制四自由度组合方式的机械手，具体介绍 PLC、旋转编码器、无接触式接近开关、步进驱动、直流驱动等一系列工业元件在机械手上的使用。本教材融合了机械技术、电工电子技术、传感器技术、接口技术、PLC 控制技术等多种技术，其目的是使学生了解工业机械手的基本结构，掌握工业机器人的基本控制原理和实验技能，培养学生分析问题与解决问题的能力。

本教材适合作为高职高专机电一体化专业、电气自动化专业等机电类相关专业的教材，也适合作为中职机电类相关专业的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

机器人概论及实训/于玲, 王建明主编. —北京: 化学工业出版社, 2013. 8

高职高专机电一体化专业规划教材
ISBN 978-7-122-17718-6

I. ①机… II. ①于…②王… III. ①机器人-中等专业学校-教材 IV. ①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 137625 号

责任编辑: 刘 哲

装帧设计: 王晓宇

责任校对: 陶燕华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 7½ 字数 157 千字 2013 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 19.00 元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD

随着科学技术的不断发展、新技术的不断采用、生产的专业化，工业机器人及机械手技术在工业生产中得到了广泛的应用。本教材主要介绍机器人的发展和应用现状、机器人的结构原理和特点、机器人的控制方法以及机器人的应用领域，重点介绍机器人中的重要部分机械手的实际应用及如何操作，介绍如何控制四自由度组合方式的机械手，具体 PLC 如何控制运行，旋转编码器、无接触式接近开关、步进驱动、直流驱动等一系列新工业元件在机械手上的使用，充分介绍了机器人技术使用到的机械技术、电工电子技术、传感器技术、接口技术、PLC 控制技术等多种技术，其目的是使学生了解工业机器人的基本结构，掌握工业机器人的机械手的基本控制原理和实验技能，培养学生分析问题与解决问题的能力，培养学生一定的动手能力，为进一步学习专业课以及毕业后从事专业工作打下必要的基础。

本教材共分为两篇。第 1 篇主要介绍机器人的发展和应用现状、机器人的结构原理和特点、机器人的控制方法以及机器人的应用领域，介绍两种机械手及其控制——气动机械手控制和行走机械手控制。第 2 篇主要阐述工业机械手实训装置的基本结构、元器件使用、工作原理和工作过程。该教材力求采用开放式教学方法，使学生在理论学习的同时，增加工业现场使用技能，重点介绍实际操作，分为 6 个项目进行，分别是直流电机控制正反转、气动手爪来回旋转、步进电机控制应用、旋转编码器角度控制应用、机械手上电回零操作和机械手抓/放料控制操作。

全书由于玲、王建明主编，张益担任副主编，李娜、谢飞、沈洁、牛春会、杜向军参加编写。具体编写分工：第 1、2 章由王建明编写，第 3 章由李娜、谢飞、沈洁编写，第 4 章由张益编写，第 5 章 5.1 由牛春会、杜向军编写，第 5 章 5.2 和第 6 章由于玲编写。全书由于玲统稿。

由于编者水平有限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者
2013 年 5 月



目 录

CONTENTS

第 1 篇 理论篇

第 1 章 机器人概论	3
1.1 工业机器人的定义及工作环境	3
1.2 工业机器人基本组成及技术参数	5
1.3 工业机器人的分类及应用	9
1.4 工业机器人的未来	14
练习与思考	15
第 2 章 工业机器人的控制	17
2.1 工业机器人控制系统的特点和基本要求	17
2.2 工业机器人控制系统的分类	17
2.3 工业机器人计算机控制系统实例	23
练习与思考	24
第 3 章 工业机器人应用举例	25
3.1 概述	25
3.2 工业机器人	25
练习与思考	44
第 4 章 自动线机械手控制	45
4.1 气动机械手控制	45
讨论	56
4.2 行走机械手控制	56
练习与思考	82

第 2 篇 实训篇

第 5 章 实训理论篇	85
5.1 基本结构	85
5.2 元器件基本原理与使用方法	90

第 6 章 实操篇	104
项目 1 直流电机控制正反转	105
项目 2 气动手爪来回旋转	106
项目 3 步进电机控制应用	107
项目 4 旋转编码器角度控制应用	109
项目 5 机械手上电回零操作	110
项目 6 机械手抓/放料控制操作	110
参考文献	112

第1篇

理 论 篇

第1章 机器人概论

第2章 工业机器人的控制

第3章 工业机器人应用实例

第4章 自动线机械手控制

第 1 章 机器人概论

工业机器人的发展离不开工业自动化的需要和发展。工业机器人作业与周围环境有很强的交互作用。

本章将介绍机器人的定义和机器人与环境的关系，重点介绍机器人的组成和主要参数，以及机器人的应用和发展趋势。

1.1 工业机器人的定义及工作环境

1.1.1 工业机器人的定义及特点

机器人是一个在三维空间中具有较多自由度的，并能实现诸多拟人动作和功能的机器；而工业机器人（Industrial Robot）则是在工业生产中应用的机器人。图 1-1 表示一个搬运工业机器人正在进行搬运作业，它从许多零件中取出零件 A，把它搬到 B 处。美国机器人工业协会（U. S. RIA）提出的工业机器人定义为：“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。”国际标准化组织（ISO）曾于 1987 年对工业机器人给出了定义：“工业机器人是一种具有自动控制的操作和移动功能，能够完成各种作业的可编程操作机。”ISO 8373 对工业机器人给出了更具体的解释：“机器人具备自动控制及可再编程、多用途功能，机器人操作机具有三个或三个以上的可编程轴，在工业自动化应用中，机器人的底座可固定也可移动。”

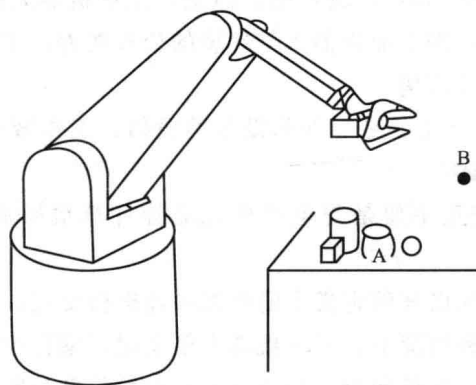


图 1-1 工业机器人抓零件 A 至 B 处

尽管复杂一些的数控机床也能把装载有工件的托盘移动到机床床身上，从而实现工件的搬运和定位，但是工业机器人通常在抓握、操纵、定位对象物时比传统的数控机床更灵巧，在诸多工业生产领域里具有更广泛的用途。

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启动化。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（FMS）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、腰转、大臂、小臂、手腕、手爪等部分，在控制上有电脑。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的工业机器人外，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，通过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。

(4) 机电一体化

工业机器人技术涉及的学科相当广泛，但是归纳起来是机械学和微电子学的结合——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、语言理解能力、图像识别能力、推理判断能力等人工智能，这些都和微电子技术的应用，特别是计算机技术的应用密切相关。因此，机器人技术的发展必将带动其他技术的发展，机器人技术的发展和水平也可以验证一个国家科学技术和工业技术的发展和水平。

1.1.2 工业机器人与环境交互

一个工业机器人所具备的功能在本质上是由其机械部分、传感部分、控制部分内部集成（Internal Integration）所决定的。但是，工业机器人的作业能力还决定于与外部环境的联系和配合，即工业机器人与环境的交互能力。工业机器人与外部环境的交互包括硬件环境和软件环境。

① 与硬件环境的交互主要是与外部设备的通信、工作域中障碍和自由空间的描述以及操作对象物的描述。

② 与软件环境的交互主要是与生产单元监控计算机所提供的管理信息系统的通信。

工业机器人不仅要与已知的定义了的外部环境进行交互，而且有可能面临变化的未知的外部环境。在这种情况下，工业机器人仅实现可编程控制是不够的。工业机器人被引导去完成作业时，在任何瞬时都要对实际参数信息与所要求的参数信息进行比较，对外部环境所发生的变化产生新的适应性指令，实现其正确的动作功能，这就是工业机器人的在线自适应能力。工业机器人与环境更高层次的交互是从外部环境中感知、学习、判断和推理，实现环境预测，并根据客观环境规划自己的行动，这就是自律型机器人和智能化机器人。

工业机器人与环境交互是机器人技术的关键。工业机器人在没有人工干预的情况

下对外部环境的自我适应、行动的自我规划，将是今后机器人技术及其应用的研究方向。

1.2 工业机器人基本组成及技术参数

1.2.1 工业机器人的基本组成

如图 1-2 所示，工业机器人系统由三大部分六个子系统组成。三大部分是：机械部分、传感部分、控制部分。六个子系统是：驱动系统、机械结构系统、感受系统、机器人-环境交互系统、人-机交互系统、控制系统。下面将分述这六个子系统。

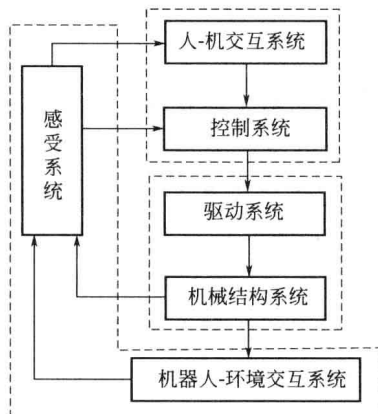


图 1-2 工业机器人的基本组成

(1) 驱动系统

要使机器人运行起来，就需给各个关节即每个运动自由度安置传动装置，这就是驱动系统。驱动系统可以是液压传动、气动传动、电动传动，或者把它们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、轮系、谐波齿轮等机械传动机构进行间接驱动。

(2) 机械结构系统

工业机器人的机械结构系统由机身、手臂、末端操作器三大件组成，如图 1-3 所示。每一大件都有若干个自由度，构成一个多自由度的机械系统。若机身具备行走机构，便构成行走机器人；若机身不具备行走及腰转机构，则构成单机器人臂（Single Robot Arm）。手臂一般由上臂、下臂和手腕组成。末端操作器是直接装在手腕上的一个重要部件，它可以是两手指或多手指的手爪，也可以是喷漆枪、焊具等作业工具。

(3) 感受系统

它由内部传感器模块和外部传感器模块组成，获取内部和外部环境状态中有意义的信息。智能传感器的使用提高了机器人的机动性、适应性和智能化的水准。人类的感受系统对感知外部世界信息是极其灵巧的。然而，对于一些特殊的信息，传感器比人类的感受系统更有效。

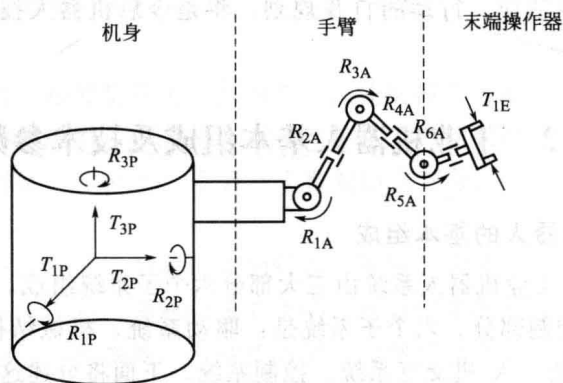


图 1-3 工业机器人机械结构的三大件

(4) 机器人-环境交互系统

工业机器人-环境交互系统是实现机器人与外部环境中的设备相互联系和协调的系统。机器人与外部设备集成为一个功能单元，如加工制造单元、焊接单元/装配单元等。当然，也可以是多台机器人、多台机床或设备、多个零件存储装置等集成为一个去执行复杂任务的功能单元。

(5) 人-机交互系统

人-机交互系统是使操作人员参与机器人控制、与机器人进行联系的装置，例如计算机的标准终端、指令控制台、信息显示板、危险信号报警器等。归纳起来为两大类：指令给定装置和信息显示装置。

(6) 控制系统

控制系统的任务是根据机器人的作业指令程序以及从传感器反馈回来的信号，支配机器人的执行机构去完成规定的运动和功能。假如工业机器人不具备信息反馈特征，则为开环控制系统；若具备信息反馈特征，则为闭环控制系统。根据控制原理，可分为程序控制系统、适应性控制系统和人工智能控制系统。根据控制运动的形式，可分为点位控制和轨迹控制。

1.2.2 工业机器人技术参数

技术参数是各工业机器人制造商在产品供货时所提供的技术数据。尽管各厂商所提供的技术参数项目是不完全一样的，工业机器人的结构、用途等有所不同，且用户的要求也不同，但是，工业机器人的主要技术参数一般都应有自由度、重复定位精度、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，不应包括手爪（末端操作器）的开合自由度。在三维空间中描述一个物体的位置和姿态（简称位姿）需要 6 个自由度。但是，工业机器人的自由度是根据其用途而设计的，可能小于 6 个自由度，也可能大于 6 个自由度。例如，PUMA562 机器人具有 6 个自由度，如图 1-4 所示，可以进行复杂空间曲面的弧焊作业。从运动学的观点看，在完成某一特定作业时具有多余自由度的机器人，就叫做冗余自由度机器人，也可简称为冗余度机器人。例如，

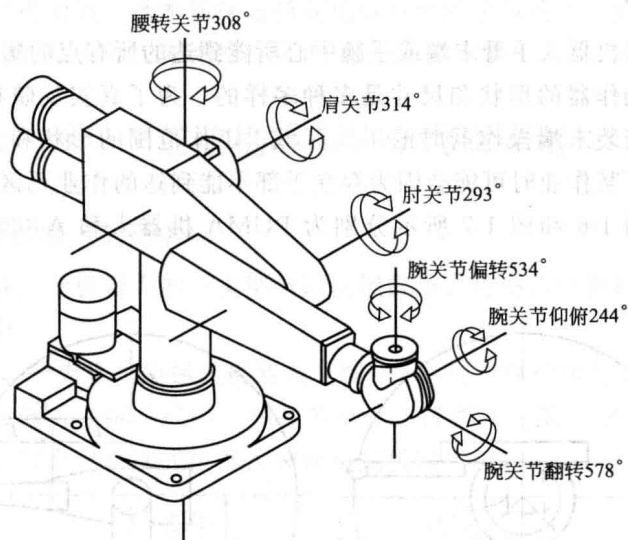


图 1-4 PUMA562 机器人

PUMA562 机器人去执行印刷电路板上接插电子器件的作业时就成为冗余度机器人。利用冗余的自由度，可以增加机器人的灵活性，躲避障碍物和改善动力性能。人的手臂（大臂、小臂、手腕）共有 7 个自由度，所以工作起来很灵巧，手部可回避障碍物，从不同方向到达同一个目的点。

(2) 重复定位精度

工业机器人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差异。重复定位精度是指机器人重复定位其手部于同一目标位置的能力，可以用标准偏差这个统计量来表示，它衡量一系列误差值的密集度，即重复度，如图 1-5 所示。

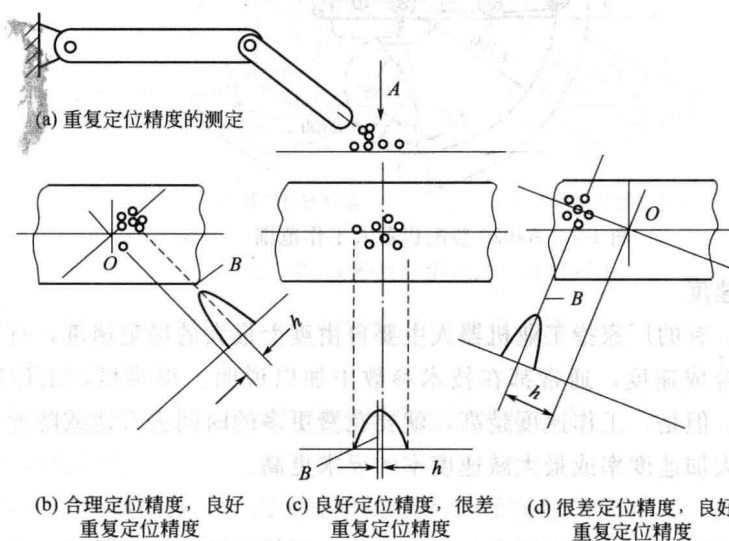


图 1-5 工业机器人精度和重复精度的典型情况

(3) 工作范围

工作范围是指机器人手臂末端或手腕中心所能到达的所有点的集合，也叫做工作区域。因为末端操作器的形状和尺寸是多种多样的，为了真实反映机器人的特征参数，所以是指不安装末端操作器时的工作区域。工作范围的形状和大小是十分重要的，机器人在执行某作业时可能会因为存在手部不能到达的作业死区 (deadzone) 而不能完成任务。图 1-6 和图 1-7 所示分别为 PUMA 机器人和 A4020 机器人的工作范围。

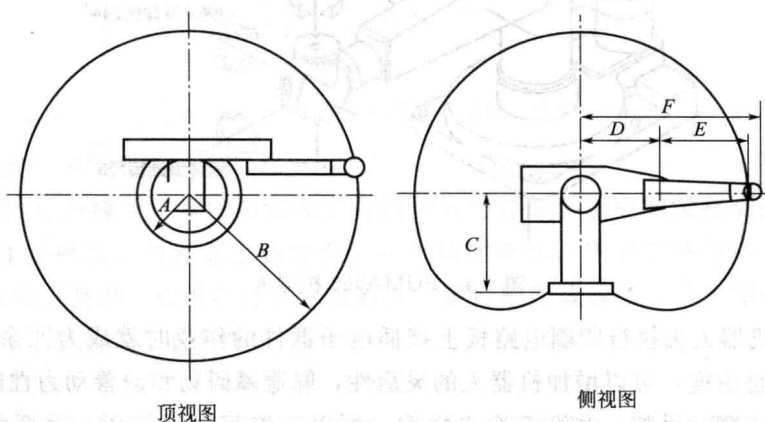


图 1-6 PUMA 机器人工作范围

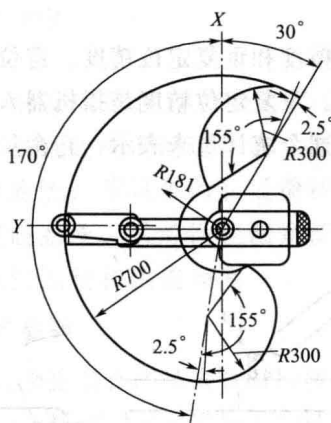


图 1-7 A4020 装配机器人工作范围

(4) 最大工作速度

最大工作速度，有的厂家指工业机器人主要自由度上最大的稳定速度，有的厂家指手臂末端最大的合成速度，通常都在技术参数中加以说明。很明显，工作速度越高，工作效率越高。但是，工作速度越高，就要花费更多的时间去升速或降速，或者对工业机器人的最大加速度率或最大减速度率的要求更高。

(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。承载能力不仅决定于负载的质量，而且还与机器人运行的速度和加速度的大小和方向有关。为

了安全起见, 承载能力这一技术指标是指高速运行时的承载能力。通常, 承载能力不仅指负载, 而且还包括机器人末端操作器的质量。

1.3 工业机器人的分类及应用

1.3.1 工业机器人的分类

一般根据构成工业机器人的三大部分即机械部分、传感部分和控制部分来分类。

(1) 机械部分

① 基本结构。分为直角坐标式机器人 [图 1-8(a)]、圆柱坐标式机器人 [图 1-8(b)]、球坐标式机器人 [图 1-8(c)] 和关节坐标式机器人 [图 1-8(d)]。此外, 还有柔软臂式机器人、冗余自由度式机器人和模块式机器人等。

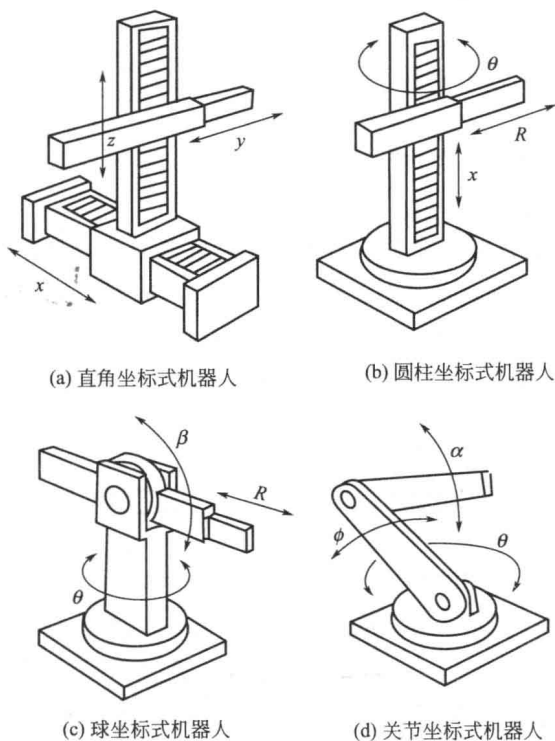


图 1-8 4 种坐标形式的工业机器人

② 驱动源。分为气动、液压驱动源和电动驱动源。

(2) 传感部分

一般分为视觉传感器、触觉传感器和接近觉传感器。

(3) 控制部分

分为人工操纵机器人、固定程序机器人、可变程序机器人、重演示教机器人、计算机数控机器人和智能机器人。

根据机器人三部分的具体选择, 可给出某个工业机器人的全称, 如计算机控制具

有视觉功能全电动关节型机器人。但是，一般很少使用全称，通常就以机械部分的基本结构来命名，上例应简称为关节型机器人，也可直接使用厂家给出的机器人名称，如 PUMA500 机器人。

(1) 按工业机器人的结构分类

① 五种基本坐标式机器人。机器人的机械结构部分可看成是由一些连杆通过关节组装起来的。通常有两种关节，即转动关节和移动关节。连杆和关节按不同坐标形式组装，机器人可分为 5 种：直角坐标式、圆柱坐标式、球坐标式、关节坐标式及平面关节坐标式。其坐标轴是指机械臂的三个自由度轴，并未包括手腕上的自由度。图 1-8 所示为其中 4 种坐标形式的机器人。

a. 直角坐标式机器人具有三个移动关节，能使手臂末端沿直角坐标系的 x 、 y 、 z 三个坐标轴做直线移动。

b. 圆柱坐标式机器人具有一个转动关节和两个移动关节，构成圆柱形状的工作范围。

c. 球坐标式机器人具有两个转动关节和一个移动关节，构成球缺形状的工作范围。

d. 关节坐标式机器人具有三个转动关节，其中两个关节轴线是平行的，构成较为复杂形状的工作范围。

e. 平面关节式机器人可以看成是关节坐标式机器人的特例，它只有平行的肩关节和肘关节，关节轴线共面，如图 1-9 所示。它是一种装配机器人，也叫做 SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm)，在垂直平面内具有很好的刚度，在水平面内具有较好的柔顺性，故在装配作业中能获得良好的应用，常常将它专门列出一类。

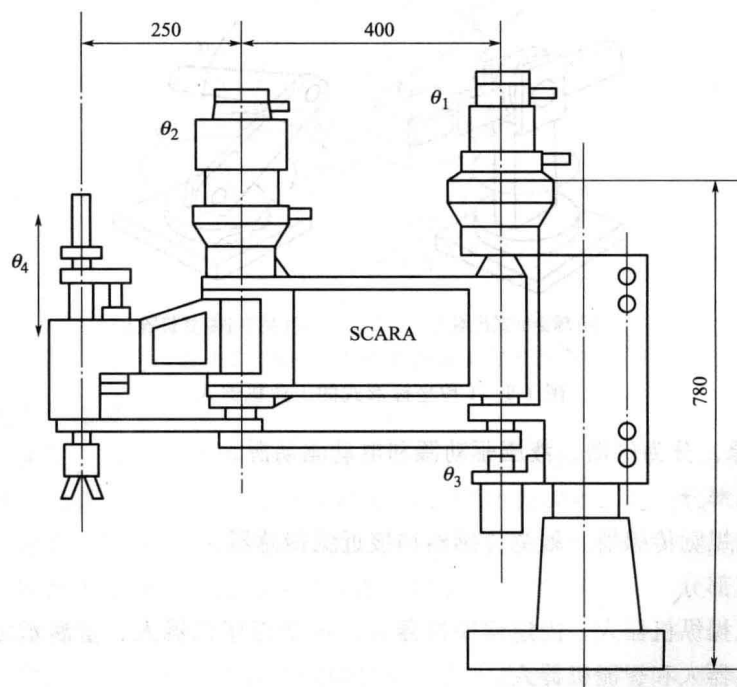


图 1-9 平面关节式机器人

② 两种冗余自由度结构机器人。

a. 体控制的柔软臂式机器人，也叫象鼻子机器人，如图 1-10 所示。柔软臂是用于驱动源整体控制的，控制凸面圆盘的相对滚动，手臂能产生向任何方向柔软的弯曲。由于凸面圆盘相对滚动的自由度很大，所以把这种柔软臂式机器人归在冗余自由度结构机器人中。哈尔滨工业大学机器人研究室设计了一种具有柔软手腕的喷漆机器人，用于向任意空间曲面进行喷漆作业。

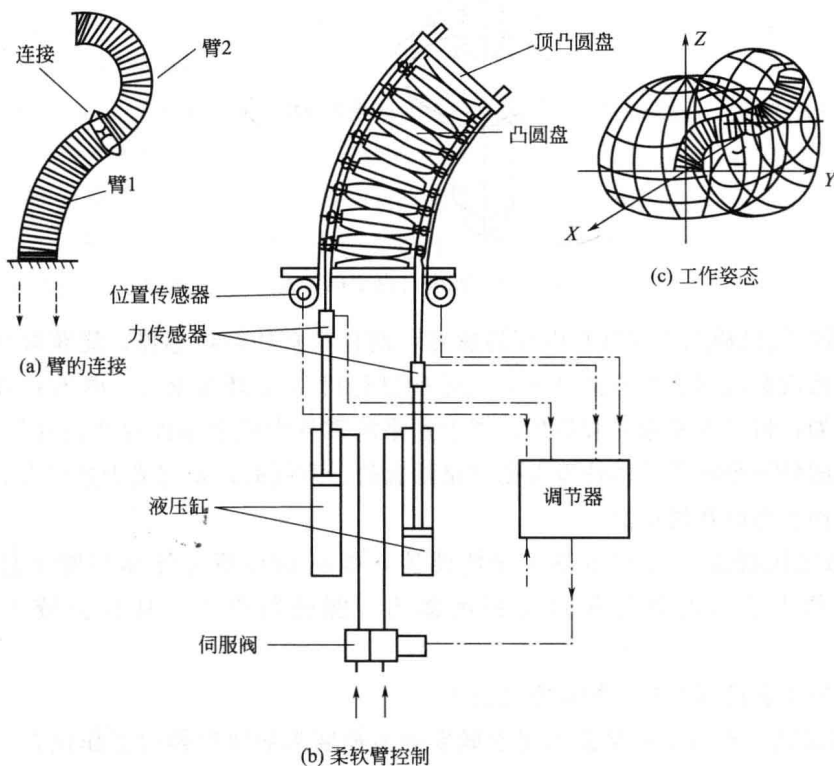


图 1-10 柔软臂式机器人

b. 关节独立控制的冗余自由度机器人，如图 1-11 所示。其直角坐标式机器人放在一个可转动的平台上，增加了一个转动自由度，成为冗余自由度机器人。这种机器人很适合于机床上下料等应用场合。

③ 模块化结构机器人。工业机器人模块化的主要含义是机器人由一些可供选择的标准化模块拼装而成。标准化模块是具有标准化接口的机械结构模块、驱动模块、控制模块、传感器模块，并已经系列化。

④ 并联机器人。从机构学角度可将机器人机构分为开环机构和闭环机构两大类：以开环机构为机器人机构原型的叫串联机器人；以闭环机构为机器人机构原型的叫并联机器人。

(2) 按机器人研究、开发和实用化的进程分类

① 第一代机器人具有示教再现功能，或具有可编程的 NC 装置，但对外部信息不具备反馈能力。