

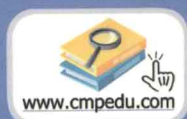
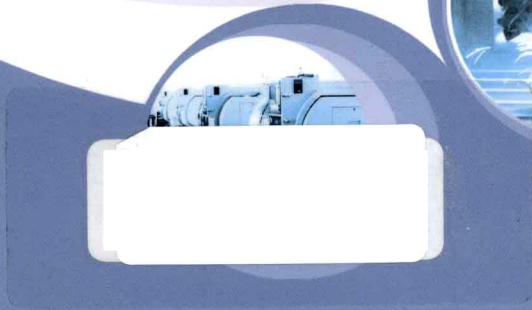
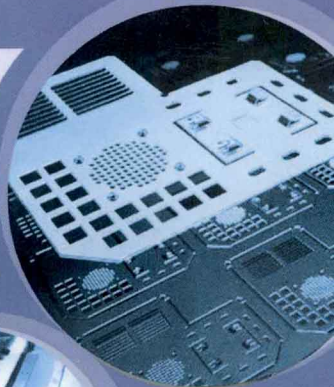


国家示范性高职院校建设项目成果

焊接技术及自动化专业

# 弧焊机器人操作与编程

李荣雪 主编



赠 电子 课 件



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

国家示范性高职院校建设项目成果  
焊接技术及自动化专业

# 弧焊机器人 操作与编程

主 编 李荣雪

参 编 姚 佳 张 磊

常州大学图书馆  
藏书章



机械工业出版社

本书介绍了工业机器人的基本概念、分类及应用,讲述了工业机器人的基本结构及控制方法,并以 ABB 弧焊机器人为例,介绍了弧焊机器人系统(工作站)的构成、操作及编程方法。

本书以弧焊机器人的操作和编程为主线,将其贯穿于整个理论教学和实践教学的全过程。以项目教学方式,基于工作过程设计教学内容。全书共 6 个项目,每个项目包括 1~2 个工作任务,将工业机器人的操作和应用与弧焊机器人的基本结构、基本原理及示教编程方法有机结合,通过任务训练掌握工业机器人及弧焊机器人的基本知识和基本技能。

本书可作为高等职业教育及各类成人教育的焊接技术及自动化专业教材或培训用书,也可供相关技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

弧焊机器人操作与编程 / 李荣雪主编. —北京:机械工业出版社,2011  
国家示范性高职院校建设项目成果·焊接技术及自动化专业  
ISBN 978-7-111-33617-4

I. ①弧… II. ①李… III. ①电弧焊—焊接机器人—高等职业教育—教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 033550 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:郑丹 于奇慧 责任编辑:薛礼

版式设计:张世琴 责任校对:佟瑞鑫

封面设计:路恩中 责任印制:乔宇

北京汇林印务有限公司印刷

2011 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·8.5 印张·206 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-33617-4

定价:17.00 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

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版



## 前言

大型焊接结构及新型结构材料的应用对焊接技术提出了很高的要求，但也促进了焊接技术与焊接工艺的发展，促进了焊接生产的机械化和自动化，弧焊机器人、点焊机器人及自动焊接生产线在我国制造业中的应用越来越广泛。虽然国内有很多机器人方面的专著、教材，但普遍是偏向理论与研究，不能满足实际应用的需要，更没有适合高职层次的以弧焊机器人操作与编程为主的教材。目前，企业的弧焊机器人操作与编程人员的培养只能依靠各种机器人生产厂家的培训或产品使用手册，缺乏相关的系统学习与理论指导。因此，编写一本以操作为主，兼顾基本理论的弧焊机器人操作方面的高职教材或参考书是十分必要的。

本书主要讲授工业机器人的基本概念、分类和应用，以及弧焊机器人的基本操作与编程等内容。本书的编写贯彻先进的教学理念，以技能训练为主线，相关知识为支撑，较好地处理了理论教学与技能训练的关系，重点培养学生的操作能力。以销量世界排名第一的 ABB 弧焊机器人为例，介绍其基本操作与编程方法，以期达到触类旁通的目的，并使学生在实际操作中学会工业机器人的基本理论。

本书以培养学生综合素质为基础，以职业能力为本位；以企业需求为基本依据，以就业为导向；适应企业技术发展，体现教学内容的先进性和前瞻性。本书基于工作过程设计教学内容，全书共 6 个项目，每个项目包含 1~2 个工作任务，项目内容包含学习目标，知识准备、任务实施、教学评价、学后感言及思考与练习。

本书由李荣雪担任主编并编写绪论、项目 2 及项目 6；姚佳编写项目 1 和项目 4，张磊编写项目 3 和项目 5、赵文艺编写项目 5 中的传感器部分内容。

在编写过程中，作者参阅了国内外相关资料，得到了上海 ABB 工程有限公司薛振框博士、北京中丽制机工程技术有限公司郭建朋工程师的指导，在此一并表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者



# 目 录

前言		项目 4 弧焊机器人与编程	69
绪论	1	任务 1 弧焊机器人系统及指令	69
项目 1 认识工业机器人	6	任务 2 平板堆焊与编程	78
项目 2 手动操纵工业机器人	26	项目 5 典型接头的焊接与编程	87
任务 1 连续移动机器人	26	任务 1 平板对接接头的焊接与编程	87
任务 2 机器人的精确定点运动	32	任务 2 圆管对接接头的焊接与编程	95
项目 3 机器人示教编程	41	项目 6 工业机器人的离线编程	115
任务 1 新建和加载程序	41	参考文献	130
任务 2 编辑程序	55		

# 绪 论

机器人技术的发展是科学技术发展的综合性标志，对社会经济发展产生了重大影响。机器人不仅将人从复杂、繁重的体力劳动中解救出来，也使产品质量和生产效率有了大幅度的提高。因此，机器人在日本、欧洲及北美等工业发达国家的应用已经非常普遍，在我国的应用也越来越多。

## 一、什么是工业机器人

机器人的英文单词“Robot”起源于捷克作家卡雷尔·卡佩克在1920年发表的科幻剧本《罗萨姆的万能机器人》（《Rossums Universal Robots》）中。剧本中的Robot是一家公司发明的形状像人的机器，可以听从人的命令做各种动作；它可以不吃饭，能够不知疲倦地进行工作。自此以后，像人一样的机器出现在很多科幻小说中，我国干脆就将“Robot”翻译成“机器人”。其实，机器人是一种可以运动的机械电子装置，不全都像人。

国际标准化组织对工业机器人的定义为：“工业机器人是一种具有自动控制的操作和移动功能，能完成各种作业的可编程操作机，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。”

美国机器人协会的定义为：“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。”

美国国家标准局的定义为：“一种能够进行编程并在自动控制下执行某种引起操作和移动作业任务的机械装置。”

中国机器人专家对机器人的综合定义为：“机器人是一种在计算机控制下的可编程的自动机器，根据所处的环境和作业的需要，它具有至少一项或多项拟人功能，如抓取功能或移动功能，或两者兼而有之，另外还可能程度不等地具有某些环境感知功能（如视觉、力觉、触觉、接近觉等）以及语音功能乃至逻辑思维、判断决策功能等，从而使它能在要求的环境中代替人进行作业。”

## 二、为什么要发展机器人

发展机器人有以下三个理由：

1) 机器人可以干人不愿意干的工作，它把人从有毒的、有害的、高温的或危险的环境中解放出来。

2) 机器人可以干人不好干的工作。如在汽车生产线上的焊钳重达一百多公斤，一天焊

几千个焊点。人从事这种重复性劳动，不但容易疲劳，而且准确性较差，产品的质量难以保证。

3) 机器人可以干人干不了的工作。如火星探测、海底探测、海上打捞、海下侦查及排险等工作，都是人类自身无法企及的。

### 三、机器人的产生及发展

#### 1. 机器人的产生

1954年，乔治·德渥取得了“附有重放记忆装置的第一台机械手”的专利权，这一年被人们公认为是“机器人时代”的开始。该设备能够执行从一点到另一点的受控运动。

1958年，同被誉为“机器人之父”的约瑟夫·英格尔伯格和乔治·德渥创建了世界上第一个机器人公司——Unimation公司，并参与设计了第一台“尤尼梅特”(Unimate)机器人，意思是万能自动。

1962年，美国机械与铸造公司也制造出工业机器人，称为“沃尔萨特兰”(Versatran)，意思是万能搬动。它主要用于机器之间的物料搬运，采用液压驱动。该机器人的手臂可以绕底座回转，沿垂直方向升降，也可以沿半径方向伸缩。一般认为“尤尼梅特”(Unimate)和“沃尔萨特兰”(Versatran)机器人是世界上最早的工业机器人，并且至今仍在使用。

早期的工业机器人(见图0-1)的基座上有一个大机械臂，大臂可绕轴在基座上转动，大臂上又伸出一个机械臂，相对大臂可以伸出或缩回。小臂顶端有一个腕关节，可绕小臂转动，进行俯仰和横滚。腕关节前面是操作器。这个机器人的功能和人的手臂的功能相似。该机器人采用液压驱动，手臂的控制由一台专用计算机完成。

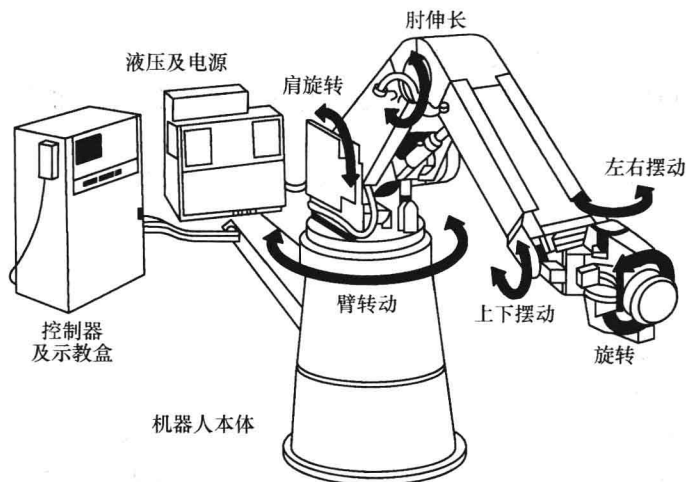


图 0-1 早期的工业机器人

#### 2. 机器人的发展

机器人的发展经历了三个阶段。

(1) 第一代机器人——示教再现型机器人 示教再现型机器人是通过一台计算机来控制一个多自由度的机械手臂，它通过示教器控制机器人的运动，并把机器人程序存入计算机。这类机器人没有装备任何传感器，对环境没有感知能力，其作业路径、运动参数需要操作人

员手把手示教并编程设定。在示教过程中，机器人各关节的几何参数的变化被检测出来，并自动存储；工作时，机器人会在这些存储数据的指令下驱动关节，再现示教的内容。目前，商品化、实用化的工业机器人大多数是此类机器人，如图 0-2 所示。

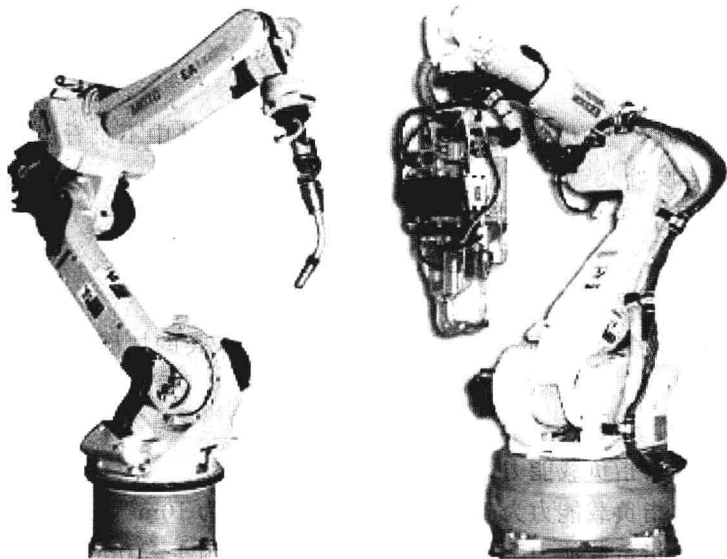


图 0-2 示教机器人

(2) 第二代机器人——“带感觉”的机器人 这种机器人具有类似人的某种感觉，如力觉、触觉、滑觉、视觉及听觉等。这种机器人配备简单的传感器，能感知自身的运行速度、位置及姿态等物理量，并以这些信息的反馈形成闭环控制。例如，配备了简易视觉、力觉传感器的机器人具有一定适应外部环境的能力。20 世纪 80 年代，第二代机器人在国外已进入实用化阶段，并在工业生产中开始得到应用。

(3) 第三代机器人——智能机器人 智能机器人具有多种传感器组成的检测系统，具有比第二代机器人更完善的环境感知功能，可以感知内部关节的运行速度、受力大小等参数，还可通过外部传感器（如视觉传感器、触觉传感器等）对外部环境信息进行感知、提取及处理，并做出一定的思维、判断和决策，根据作业要求和环境信息，自主地进行工作。智能机器人是研究人员所追求的最高级阶段，是最接近人的机器人（见图 0-3），目前尚处于研究和

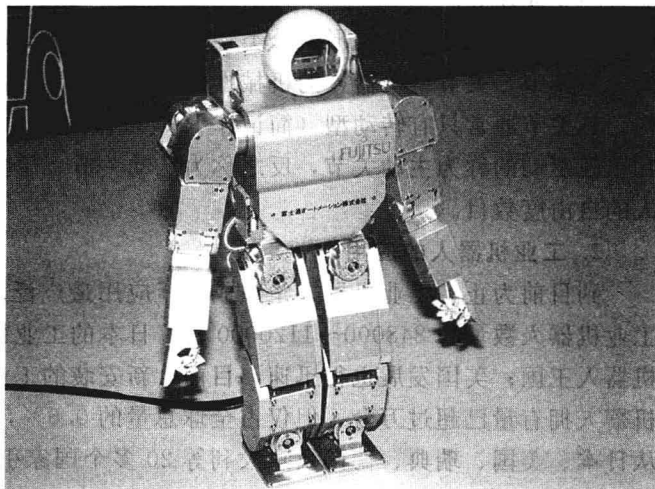


图 0-3 智能机器人

我国的机器人技术从 20 世纪 80 年代起步，在“七五”计划中，机器人被列入国家重点科研规划内容，在“863 计划”的支持下，机器人基



础理论与基础元、器件研究全面展开。1986年,全国第一个机器人研究示范工程在沈阳建立。目前,我国已基本掌握了机器人技术,可生产部分关键元器件,已开发出喷漆、弧焊、点焊、装配及搬运机器人。

## 四、机器人的分类及应用

### 1. 机器人的分类

机器人有多种形式,可以从多方面对机器人进行分类,从中不难看出机器人的多样性。

#### (1) 按照发展程度分类

- 1) 第一代机器人,示教再现型机器人。
- 2) 第二代机器人,具有传感器信息反馈的“带感觉”的机器人。
- 3) 第三代机器人,智能机器人。
- 4) 第四代机器人,情感型机器人。这类机器人具有人类的情感,是机器人发展的最高层次。

#### (2) 按照性能指标分类

- 1) 超大型机器人,指负载能力为 $10^7\text{N}$ 以上的机器人。
- 2) 大型机器人,指负载能力为 $10^6\sim 10^7\text{N}$ ,作业空间为 $10\text{m}^2$ 以上的机器人。
- 3) 中型机器人,指负载能力为 $10^5\sim 10^6\text{N}$ ,作业空间为 $1\sim 10\text{m}^2$ 的机器人。
- 4) 小型机器人,指负载能力为 $1\sim 10^4\text{N}$ ,作业空间为 $0.1\sim 1\text{m}^2$ 的机器人。
- 5) 超小型机器人,指负载能力为 $1\text{N}$ 以下,作业空间为 $0.1\text{m}^2$ 以下的机器人。

#### (3) 按照开发内容和目的分类

1) 工业机器人,是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人,包括装配机器人、焊接机器人、搬运机器人及喷漆机器人等。

2) 操纵型机器人,指人可在一定距离处直接操纵其进行作业的机器人。一般是通过主、从方式实现对机器人的遥控操作。

3) 智能机器人,具有感知和理解外部环境信息的能力,即使其工作环境发生变化,也能自动完成任务。

(4) 按照机器人结构形式分类 机器人按照结构形式可分为关节型机器人和非关节型机器人。其中,关节型机器人的机械本体部分一般为由各种关节串接起若干连杆组成开链式结构。其关节通常只有转动型(简记作R型)和移动型(简记作P型)两类。在这些关节中,凡单独驱动的称为主动关节,反之称为从动关节。单独驱动的主动关节数目称做关节型机器人的自由度数目。

### 2. 工业机器人的应用

到目前为止,工业机器人是最成熟,应用最广泛的一类机器人。至2004年底,全球的工业机器人数量为848000~1120000套。日本的工业机器人数量几乎占全球的一半,被誉为机器人王国;美国发展也很迅速,目前,新安装的工业机器人数量已经超过了日本。我国的机器人拥有量已超过万台,但仅占全球总量的0.6%,其中,国产机器人仅占30%,其余皆从日本、美国、瑞典、德国及意大利等20多个国家引进。目前,工业机器人主要应用在以下几个方面:

- 1) 自动化生产领域。早期的工业机器人在生产中主要用于机床上下料、定位焊和喷漆

作业。随着柔性自动化生产线的出现，工业机器人得到了更广泛的应用，如焊接机器人、搬运机器人、检测机器人、装配机器人、喷漆和喷涂机器人、铸造机器人及锻造机器人等。

2) 恶劣、危险的工作环境。如有核污染的核电站检测、高层建筑外墙的清洗、设备维修等，这些工作有害人体健康或存在危及生命的不安全因素，不适宜人工作业，用工业机器人去完成是最合适的。

3) 特殊作业场合。即对人来说力不能企及的作业场合。

综上所述，工业机器人的应用给人类带来了许多好处，如降低生产成本，提高生产效率，改进产品质量，增加制造过程的柔性，减少材料浪费，改善劳动环境等。



### 【学后感言】

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



### 【思考与练习】

1. 什么是工业机器人？
2. 为何要发展工业机器人？
3. 工业机器人的发展经历了哪几个阶段？

# 认识工业机器人

本项目以弧焊机器人为例，较全面地介绍了工业机器人各部分的功能和操作注意事项，使学生能够正确操作机器人，熟悉其运动特点。



## 【学习目标】

### 知识目标

- 1) 掌握弧焊机器人系统的组成部分及其功能。
- 2) 掌握示教器的结构、功能及按键的使用方法。
- 3) 了解工业机器人的结构特点、性能、分类及选择方法。

### 技能目标

- 1) 能正确选择机器人运行模式。
- 2) 能正确使用示教器摇杆及使能键。



## 【工作任务】

## 认识工业机器人

工业机器人诞生于 20 世纪 60 年代，在 20 世纪 90 年代得到迅速发展，是最先产业化的机器人技术，是综合了计算机、控制理论、机构学、信息和传感技术、人工智能及仿生学等多学科而形成的高新技术。工业机器人的出现有利于制造业规模化生产，它代替人进行单调、重复性的体力劳动，提高了生产质量和效率。

目前，国际上的工业机器人主要分为日系和欧系。日系中主要有安川、OTC、松下、FANUC、不二越及川崎等公司的产品。欧系中主要有德国 KUKA、CLOOS，瑞士的 ABB，意大利的 COMAU 及奥地利的 IGM 等公司的产品。工业机器人已成为柔性制造系统 (FMS)、工厂自动化 (FA)、计算机集成制造系统 (CIMS) 中不可或缺的自动化工具。经验表明：使用工业机器人可以降低废品率和产品成本，减小工人误操作带来的残次零件风险。工业机器人带来的一系列效益也是十分明显的，如减少人工用量、减少机床损耗、加快技术创新速度、提高企业竞争力等。机器人具有执行各种任务特别是高危任务的能力，平均故障间隔期达 60000h 以上，比传统的自动化工艺更加先进。



## 【知识准备】

## 一、工业机器人概述

工业机器人是目前技术上最成熟的机器人，它实质上是能根据预先编制的操作程序自动重复工作的自动化机器，所以这种机器人也称为重复型工业机器人。

## 1. 工业机器人的基本组成与控制方式

(1) 工业机器人系统的组成 工业机器人的本体结构是一只类似于人体上肢功能的关节型机械手，其控制系统构成如图 1-1 所示。

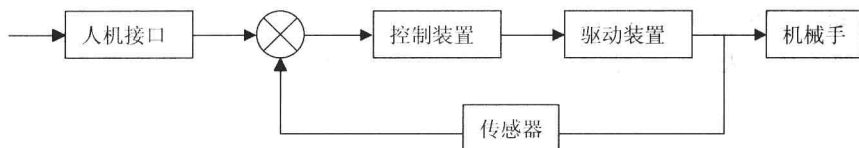


图 1-1 一般工业机器人控制系统基本构成

高性能的通用型工业机器人一般采用关节式的机械结构，在每个关节中安装伺服电动机，通过计算机对驱动装置进行控制，实现机器人的运动，如图 1-2 所示。

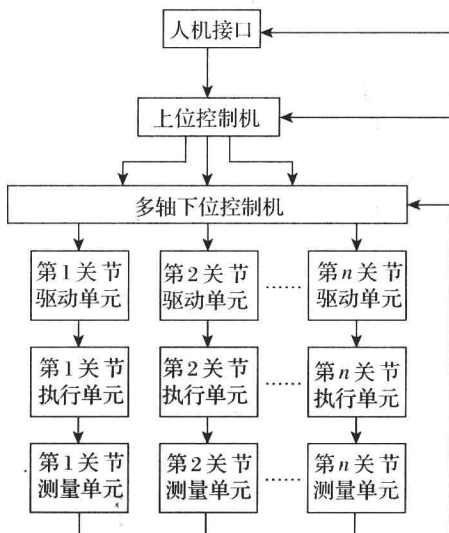


图 1-2 工业机器人控制过程

人机接口除了包括一般的计算机键盘、鼠标外，通常还包括示教器，通过示教器可以对机器人进行控制和示教操作。上位控制机具有存储单元，可实现重复编程、存储多种操作程序以及运动轨迹生成。下位控制机用于实现伺服控制、轨迹插补计算及系统状态检测。机器人的测量单元一般包括位置检测元件（如光电编码器）和速度检测元件（测速发电机），被测量反馈到控制器中，用于闭环控制、监测或示教操作。

(2) 工业机器人的控制方式 工业机器人的控制方式包含示教再现控制和位置控制两种。

示教再现控制是指操作人员通过示教器把作业内容编制成程序，输入到记忆装置中。给出启动命令后，系统从存储单元中读出信息并送到控制装置，控制装置发出控制信号，由驱

动机构控制机械手在一定精度范围内按照存储单元中的内容完成各种动作。工业机器人与一般自动化机器的最大区别就是它具有示教再现功能，因而表现出通用、灵活的“柔性”特点。

另一种控制方式是位置控制。工业机器人的位置控制方式包含点位控制和连续路径控制两种。点位控制方式只控制机器人运动的起点和终点位置，而不关心这两点之间的运动轨迹，这种控制方式可完成无障碍条件下的定位焊、上下料及搬运等操作。连续路径控制方式不仅要求机器人以一定的精度达到目标点，而且对移动轨迹也有一定精度要求，例如机器人喷漆、弧焊等操作。连续路径控制方式的实现是以点位控制为基础的，在每两个点之间进行满足精度要求的轨迹插补运算即可实现轨迹的连续化。

## 2. 工业机器人的技术指标

工业机器人的技术指标反映了机器人的适用范围和工作性能，是选择、使用机器人必须考虑的关键问题。

(1) 自由度 自由度是指描述物体运动所需要的独立坐标数。自由物体在空间有6个自由度，即3个移动自由度和3个转动自由度。如果机器人是一个开式连杆系，而每个关节运动副又只有一个自由度，那么机器人的自由度数就等于它的关节数。机器人的自由度越多，它的功能就越强大，应用范围也就越广。目前，生产中应用的机器人通常具有4~6个自由度，计算机机器人的自由度时，末端执行件（如手爪）的运动自由度和工具（如钻头）的运动自由度不计算在内。

(2) 工作范围 机器人的工作范围是指机器人手臂末端或手腕中心运动时所能到达的所有点的集合。由于机器人的用途很多，末端执行器的形状和尺寸也是多种多样的，为了能真实反映机器人的特征参数，工作范围一般指不安装末端执行器时可以到达的区域。由于工作范围的形状和大小反映了机器人工作能力的大小，因而它对于机器人的应用是十分重要的。工作范围不仅与机器人各连杆的尺寸有关，还与机器人的总体结构有关。ABB机器人的工作范围如图1-3所示，其阴影部分为机器人手臂可以到达的区域。

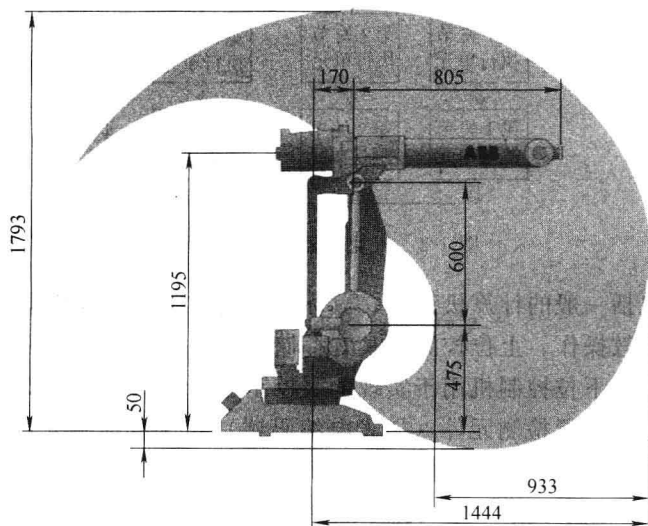


图 1-3 ABB 机器人的工作范围

(3) 最大工作速度 机器人的最大工作速度是指机器人主要关节上最大的稳定速度或手臂末端最大的合成速度,因生产厂家不同而标注不同,一般都会在技术参数中加以说明。很明显,最大工作速度越高,生产效率也就越高;然而,工作速度越高,对机器人的最大加速度的要求也就越高。

(4) 负载能力 工业机器人的负载能力又称为有效负载,它是指机器人在工作时臂端可能搬运的物体质量或所能承受的力。当关节型机器人的臂杆处于不同位姿时,其负载能力是不同的。因此,机器人的额定负载能力是指其臂杆在工作空间中任意位姿时腕关节端部所能搬运的最大质量。除了用可搬运质量标示机器人负载能力外,由于负载能力还和被搬运物体的形状、尺寸及其质心到手腕法兰之间的距离有关,因此,负载能力也可用手腕法兰处的输出扭矩来标示。

(5) 定位精度和重复定位精度 工业机器人的运动精度主要包括定位精度和重复定位精度。定位精度是指工业机器人的末端执行器的实际到达位置与目标位置之间的偏差。重复定位精度(又称为重复精度)是指在同一环境、同一条件、同一目标动作及同一条指令下,工业机器人连续运动若干次重复定位至同一目标位置的能力。

工业机器人具有绝对精度较低,重复精度较高的特点。一般情况下,其绝对精度比重复精度低一到两个数量级,且重复定位精度不受工作载荷变化的影响,故通常用重复定位精度作为衡量示教再现方式工业机器人精度的重要指标。

点位控制机器人的位置精度不够,会造成实际到达位置与目标位置之间较大的偏差;连续轨迹控制型机器人的位置精度不够,则会造成实际工作路径与示教路径或离线编程路径之间的偏差,如图 1-4 所示。

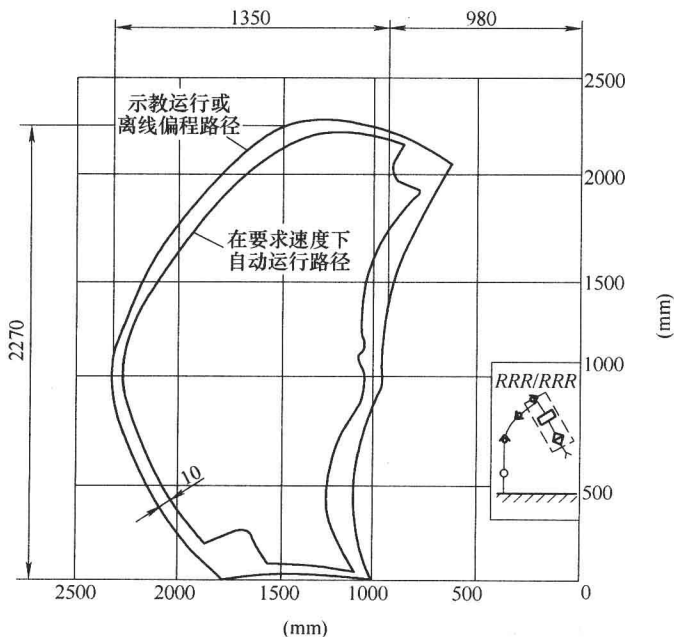


图 1-4 工作路径与示教路径的偏差

除了以上技术指标以外,机器人的技术指标中通常还包括电源、环境温度、湿度等方面

的要求，这些指标也是机器人能够正常工作的必要条件，ABB 2400L 型机器人的技术指标见表 1-1。

表 1-1 ABB2400L 型机器人的技术指标

	机械结构	6 个自由度
	载荷质量	7kg
	定位精度	±0.06mm
	安装方式	落地式
	本体质量	380kg
	电源容量	4kW
	总高	1731mm
	标准涂色	橘黄色
最大工作范围	1 轴（旋转）	360°
	2 轴（旋转）	200°
	3 轴（旋转）	125°
	4 轴（旋转）	370°
	5 轴（旋转）	240°
	6 轴（旋转）	800°
最大速度	1 轴（旋转）	150°/s
	2 轴（旋转）	150°/s
	3 轴（旋转）	150°/s
	4 轴（旋转）	360°/s
	5 轴（旋转）	360°/s
	6 轴（旋转）	450°/s
安装环境	环境温度	5~45℃
	相对湿度	最高 95%
	防护等级	IP54
	噪声水平	最高 70dB

## 二、工业机器人的机械机构

工业机器人的机械结构也就是它的执行机构，是由一系列连杆、关节或其他形式的运动副组成，可实现各个方向的运动。工业机器人的机械结构包括基座、腰、臂、腕和手等部

件，图 1-5 所示为早期机器人的机械结构。

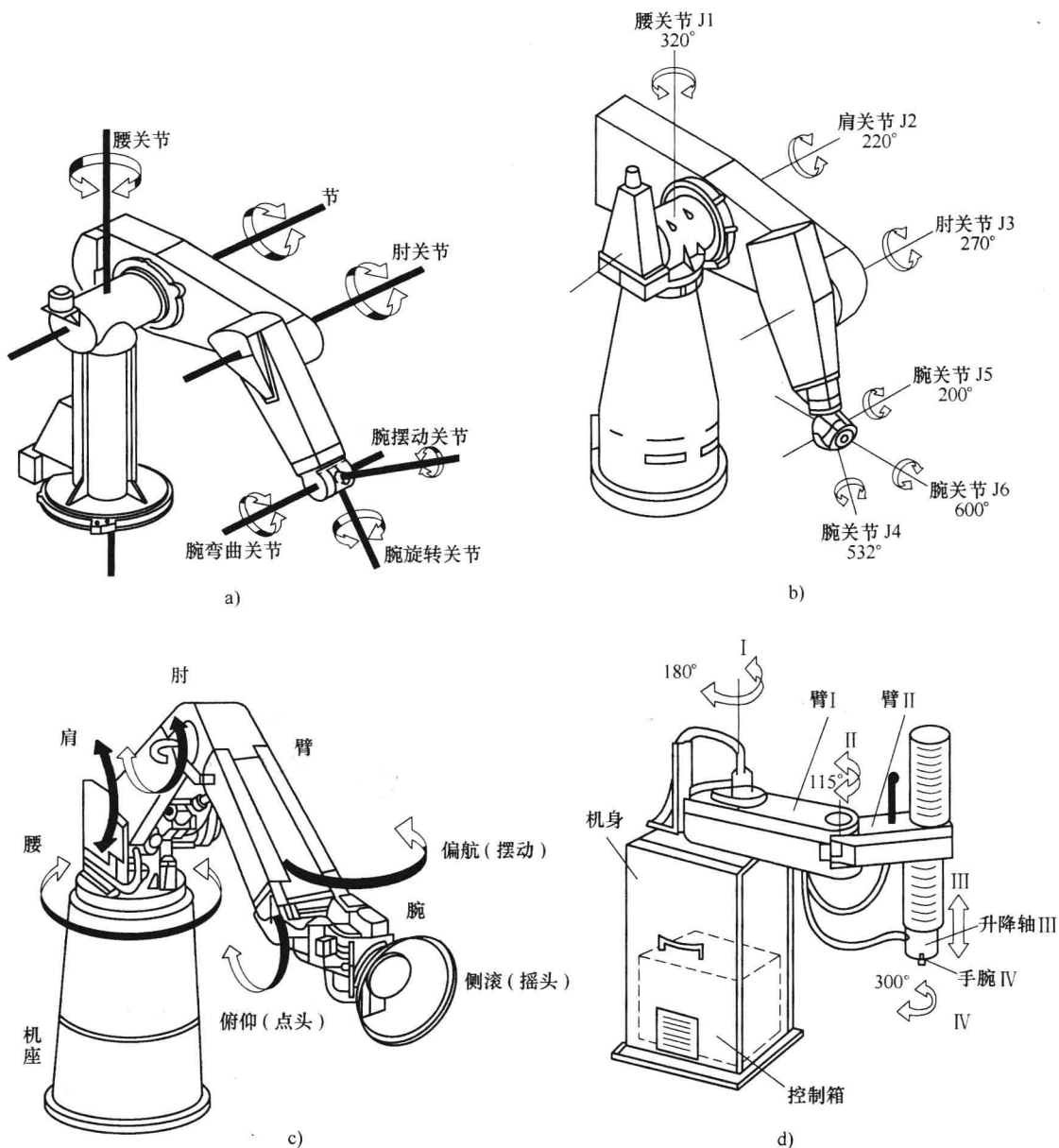


图 1-5 早期工业机器人的机械结构

a) Versatran 机器人 b) PUMA700 机器人 c) T<sup>3</sup> 机器人 d) SCARA 机器人

(1) 基座 工业机器人的基座是机器人的基础部分，起支撑作用，整个执行机构和驱动系统都安装在基座上。有时为了能使机器人完成较远距离的操作，可以增加行走机构，行走机构多为滚轮式或履带式，行走方式分为有轨与无轨两种。近几年发展起来的步行机器人的行走机构多为连杆机构。

(2) 腰 工业机器人的腰是臂的支承部分，根据执行机构坐标系的不同，腰可以在基座



上转动，也可以和基座制成一体。有时腰也可以通过导杆或导槽在基座上移动，从而增大工作空间。

(3) 臂 工业机器人的臂是执行机构中的主要运动部件，用来支承腕和手，并使它们在工作空间内运动，臂的运动方式有直线运动和回转运动两种形式。臂要有足够的承载能力和刚度，导向性好，重量和转动惯量小，运动平稳，定位精度高。

(4) 腕 工业机器人的腕是连接臂与手的部件，起支承手的作用，并用于调整手的方向和姿态。机器人一般具有 6 个自由度才能使手部（末端执行器）到达目标位置并处于期望的姿态，腕的自由度主要用于实现所期望的姿态。因此，要求腕部具有回转、俯仰和偏转 3 个自由度，如图 1-6 所示。通常，把腕的回转称为 Roll，用  $R$  表示；把腕的俯仰称为 Pitch，用  $P$  表示；把腕的偏转称为 Yaw，用  $Y$  表示。

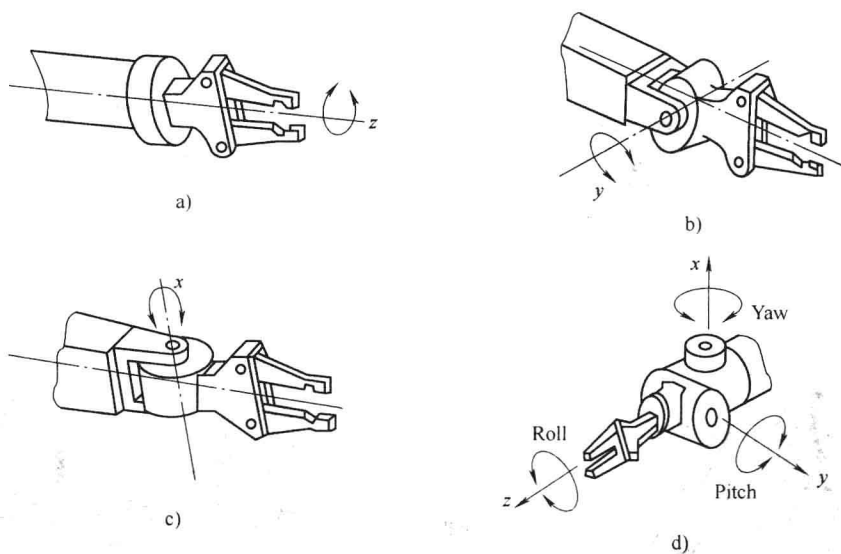


图 1-6 工业机器人手腕的自由度

a) 手腕的回转 b) 手腕的俯仰 c) 手腕的偏转 d) 三个自由度间的关系

(5) 手 工业机器人的手是安装在工业机器人手腕上进行作业的部件。工业机器人的手应具有以下特点：

1) 手是工业机器人的末端执行器。可以像人手一样具有手指，也可以类似于人的手爪，或是专用工具，如焊枪、喷漆枪等。

2) 手与手腕连接处可以拆卸。手与手腕有机械接口，也可能有电、气、液接头，当工业机器人的作业对象不同时，可以很方便地拆卸和更换。

3) 工业机器人的手通常是专用的，一种手爪往往只能抓握一种或几种尺寸、形状及重量相近的工件，只能执行一种作业任务。例如，熔化极气体保护焊焊枪、钨极氩弧焊焊枪、定位焊焊枪夹头等都只能进行相应的焊接。因此，工业机器人的手不具有通用性。

根据工作原理的不同，其夹持装置可分为机械夹紧式、真空抽吸式、气（液）压胀紧式和磁力式四种。