



智能制造专业群“十三五”规划教材

# 工业机器人 机械系统

主 编 孙炳孝 杨 帅 张小红

副主编 郭 琼



上海交通大学出版社

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

智能制造专业群“十三五”规划教材

# 工业机器人 机械系统

主 编 孙炳孝 杨 帅 张小红

副主编 郭 琮



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

## 内容提要

本书主要介绍了工业机器人的组成、结构、常用传动方式,并对工业机器人机械结构设计流程、方法以及常用零部件的选用进行了说明。书中系统介绍了一般工业机器人机械系统的机构形式、传动方法、连接元件、极限配合以及工业机器人机械结构的设计方法。

本书适合从事工业机器人本体设计、安装与维护人员以及职业院校制造相关专业学生。

## 图书在版编目(CIP)数据

工业机器人机械系统 / 孙炳孝, 杨帅, 张小红主编.

—上海: 上海交通大学出版社, 2018

ISBN 978-7-313-20322-9

I. ①工… II. ①孙… ②杨… ③张… III. ①工业机器人—机械系统 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 240009 号

## 工业机器人机械系统

主 编: 孙炳孝 杨 帅 张小红

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

出 版 人: 谈 毅

印 制: 上海景条印刷有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

字 数: 325 千字

版 次: 2018 年 11 月第 1 版

书 号: ISBN 978-7-313-20322-9/ TP

定 价: 42.00 元

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021-64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 14

印 次: 2018 年 11 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 021-59815625

# 智能制造专业群“十三五”规划教材

## 编委会名单

委 员 (按姓氏首写字母排序)

- |     |                 |
|-----|-----------------|
| 蔡金堂 | 上海新南洋教育科技有限公司   |
| 常韶伟 | 上海新南洋股份有限公司     |
| 陈永平 | 上海电子信息职业技术学院    |
| 成建生 | 淮安信息职业技术学院      |
| 崔建国 | 上海智能制造功能平台      |
| 高功臣 | 河南工业职业技术学院      |
| 郭 琼 | 无锡职业技术学院        |
| 黄 麟 | 无锡职业技术学院        |
| 江可万 | 上海东海职业技术学院      |
| 蒋庆斌 | 常州机电职业技术学院      |
| 孟庆战 | 上海新南洋合鸣教育科技有限公司 |
| 那 莉 | 上海交大教育集团        |
| 秦 威 | 上海交通大学机械与动力工程学院 |
| 邵 瑛 | 上海电子信息职业技术学院    |
| 王维理 | 上海交大教育集团        |
| 徐智江 | 上海豪洋智能科技有限公司    |
| 薛苏云 | 常州信息职业技术学院      |
| 杨 萍 | 上海东海职业技术学院      |
| 杨 帅 | 淮安信息职业技术学院      |
| 杨晓光 | 上海新南洋合鸣教育科技有限公司 |
| 张季萌 | 河南工业职业技术学院      |
| 赵海峰 | 南京信息职业技术学院      |

# 前言



p r e f a c e

目前,工业机器人技术已成为衡量一个国家制造水平和科技水平的重要标志。随着工业机器人技术在我国的应用,该领域的技术型人才需求逐年增多。我国工业机器人专业刚刚兴起,企业中很多工程技术人员都要从其他专业转型,需要经过二次培训和学习。同时近年来职业教育领域申报工业机器人专业的院校也在逐年增加,而工业机器人机械系统作为机器人三大主要系统之一,是从事工业机器人行业的技术人员必须掌握的基本知识和技能。

本书总体设计方面吸收了工业机器人专业的新发展和新应用,结合岗位对知识、能力的最新要求,注重工业机器人的组成、结构、常用传动方式以及机械结构设计流程、方法和选用的培养。全书分八大模块,由淮安信息职业技术学院孙炳孝、杨帅、张小红担任主编,得到了ABB、上海新时达、北京华航唯实等企业的支持与帮助。具体编写分工如下:模块1、模块5由张小红编写,模块2、模块3、模块4、模块7由孙炳孝编写,模块6、模块8由杨帅编写。

由于编者水平和时间有限,书中存在的误漏之处,恳请读者批评指正。

# 目录

c o n t e n t s

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>模块 1 工业机器人机械结构基础</b> .....    | 001 |
| 1.1 常用术语 .....                   | 001 |
| 1.2 工业机器人机械结构概述 .....            | 002 |
| 1.3 几种典型的工业机器人结构 .....           | 007 |
| 1.4 工业机器人机械设计原则及指标 .....         | 009 |
| 1.5 工业机器人运动学原理 .....             | 012 |
| 1.6 工业机器人机械传动分类 .....            | 017 |
| 习题 .....                         | 020 |
| <b>模块 2 极限配合与技术测量</b> .....      | 021 |
| 2.1 极限配合的基本术语 .....              | 021 |
| 2.2 极限与配合的国家标准 .....             | 027 |
| 2.3 形状与位置公差 .....                | 040 |
| 2.4 表面粗糙度 .....                  | 059 |
| 2.5 技术测量基础 .....                 | 067 |
| 习题 .....                         | 076 |
| <b>模块 3 平面机构</b> .....           | 077 |
| 3.1 平面机构运动简图及自由度 .....           | 077 |
| 3.2 平面连杆机构 .....                 | 086 |
| 习题 .....                         | 094 |
| <b>模块 4 齿轮传动</b> .....           | 096 |
| 4.1 齿轮传动的分类及特点 .....             | 096 |
| 4.2 齿廓啮合基本定律 .....               | 098 |
| 4.3 渐开线及渐开线齿廓 .....              | 099 |
| 4.4 渐开线标准直齿圆柱齿轮主要参数和几何尺寸计算 ..... | 101 |
| 4.5 渐开线直齿圆柱齿轮传动分析 .....          | 103 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 4.6 直齿圆柱齿轮强度设计 .....      | 105 |
| 4.7 轮系 .....              | 113 |
| 习题 .....                  | 118 |
| <b>模块 5 带传动和链传动</b> ..... | 120 |
| 5.1 带传动概述 .....           | 120 |
| 5.2 V 带轮的结构及带传动的维护 .....  | 124 |
| 5.3 同步带的特点及应用 .....       | 126 |
| 5.4 链传动 .....             | 128 |
| 习题 .....                  | 131 |
| <b>模块 6 其他常用机构</b> .....  | 132 |
| 6.1 凸轮机构 .....            | 132 |
| 6.2 变速机构及换向机构 .....       | 137 |
| 6.3 槽轮机构及其他新型机构 .....     | 141 |
| 习题 .....                  | 147 |
| <b>模块 7 轴承、轴和联接</b> ..... | 148 |
| 7.1 轴承 .....              | 148 |
| 7.2 轴 .....               | 163 |
| 7.3 螺纹联接与螺旋传动 .....       | 168 |
| 7.4 键联接和销联接 .....         | 176 |
| 7.5 联轴器、离合器和制动器 .....     | 182 |
| 习题 .....                  | 190 |
| <b>模块 8 末端执行器</b> .....   | 191 |
| 8.1 工业机器人各关节设计 .....      | 191 |
| 8.2 工业机器人末端执行器的设计 .....   | 205 |
| 习题 .....                  | 213 |
| <b>参考文献</b> .....         | 214 |
| <b>后记</b> .....           | 215 |



# 模块 1

## 工业机器人机械结构基础

在现代工业的发展过程中,机器人融合了机械、电子、运动、动力、控制、传感检测、计算技术等多门学科,成为现代科技发展极为重要的组成部分。国际标准化组织对工业机器人的定义为:工业机器人是一种仿生的、具有自动控制能力的、可重复编程的多功能、多自由度的操作机械。所以说,工业机器人是一种典型的机电一体化设备,是为了提高劳动生产率而创造出来的机器。

### 1.1 常用术语

(1) 机器。机器是各组成部分具有确定相对运动的、可代替人做有用的机械功或实现能量转换的人为实物组合。如图 1-1 所示的 KUKA 机器人是一种机器,其作用就是将电能转化为机械能。

(2) 零件。零件是机器中的基本制造单元。在如图 1-2 所示的工业机器人下臂结构中,组成工业机器人的齿轮、螺栓、减速器、输入轴等都是零件。零件可以分为通用零件和专用零件。通用零件是各类机器人中广泛使用的零件,如齿轮、螺栓、轴等,专用零件是仅出现



图 1-1 KUKA 工业机器人

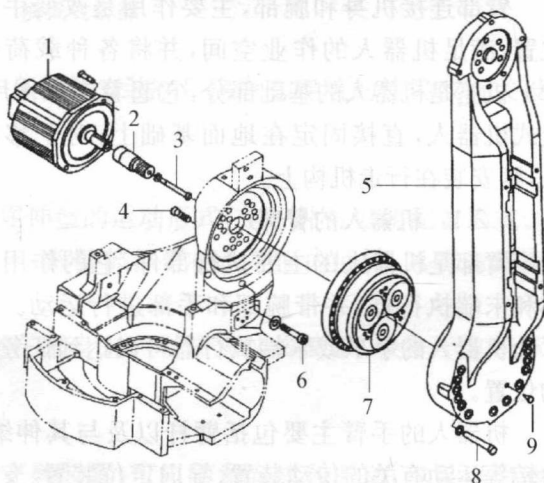


图 1-2 工业机器人下臂结构

在某类机器中的零件,如内燃机的曲轴、活塞,汽轮机的叶片等。一套协同工作以完成共同任务的零件组合常称为部件,如工业机器人的 RV 减速器和谐波减速器。

(3) 构件。构件是机器的运动单元体,包括运动速度为零的单元体。构件可以是单一的零件,也可以由组合在一起的几个刚性零件组成。齿轮既是零件又是构件;而下臂体则是有下臂壳体、螺栓及螺母几个零件组成,这些零件形成一个整体而进行运动,所以称为构件。

(4) 机构。机构是实现某种特定运动的构件组合。如工业机器人减速器中齿轮、轴等组成的齿轮机构。从研究运动和受力情况来看,机器与机构并无区别,习惯上也会用“机械”一词作为机器和机构的总称。

(5) 运动副。在机构中各个构件之间必须有确定的相对运动,因此,构件的连接既要使两个构件直接接触,又能产生一定的相对运动,这种直接接触的活动连接称为运动副。

(6) 现代机械。现代机械是“由计算机信息网络协调与控制的,用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机械和(或)机电部件相互联系的系统”。这是 1984 年美国机械工程师协会对现代机械的描述。

随着科学技术的飞速发展,伺服驱动技术、检测传感技术、自动控制技术、信息处理技术以及精密机械技术、系统总体技术等在机械中的使用,形成了一个崭新的现代制造业。

与传统的机械相比,现代机械已经成为以机械技术为基础,以电子技术为核心的高新技术综合系统,在产品的工作原理、结构和设计方法等方面都发生了深刻的变化。其中工业机器人就是现代机械的典型代表。

## 1.2 工业机器人机械结构概述

机器人的机械系统由机座、臂部、腕部、手部或末端执行器组成,如图 1-3 所示。机器人为了完成工作任务,必须配置操作执行机构。这个操作执行机构相当于人的手部,有时也称为手爪或末端执行器。而连接手部和手臂的部分相当于人的手腕,称为腕部,作用是改变末端执行器的空间方向和将载荷传递到臂部。

臂部连接机身和腕部,主要作用是改变手部的空间位置,满足机器人的作业空间,并将各种载荷传递到机身。机座是机器人的基础部分,它起着支撑作用,对于固定式机器人,直接固定在地面基础上;对于移动式机器人,则安装在行走机构上。

### 1.2.1 机器人的臂部

臂部是机器人的主要执行部件,它的作用是支撑腕部和末端执行器,并带腕部和手部进行运动。手臂是为了让机器人的手爪或末端执行器可以达到任务所要达到的位置。

机器人的手臂主要包括臂杆以及与其伸缩、屈伸或自转等运动有关的传动装置、导向定位装置、支承连接和位置检测元件等。此外,还有与之连接的支承等有关的

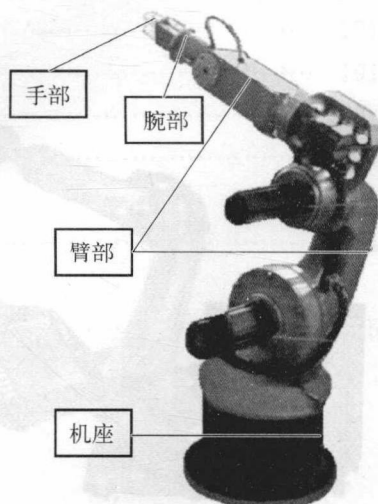


图 1-3 工业机器人的机械系统组成

构件、配管配线。根据臂部的运动和布局、驱动方式、传动和导向装置的不同,可分为动伸缩臂、屈伸臂及其他专用的机械传动臂。

机器人要完成空间的运动,至少需要三个自由度的运动,即垂直移动、径向移动和回转运动。

(1) 垂直运动。垂直运动是指机器人手臂的上下运动。这种运动通常采用液压缸机构或通过调整机器人机身在垂直方向上的安装位置来实现。

(2) 径向移动。径向移动是指手臂的伸缩运动。机器人手臂的伸缩使其手臂的工作范围发生变化。

(3) 回转运动。回转运动是指机器人绕铅垂轴的转动。这种运动决定了机器人的手臂所能达到的角度位置。

### 1.2.2 工业机器人臂部的形式

#### 1) 横梁式

机身设计成横梁式,用于悬挂手臂部件,通常分为单臂悬挂式和双臂悬挂式两种,如图 1-4 所示。这类机器人的运动形式大多为移动式。它具有占地面积小、能有效利用空间、动作简单直观等优点。

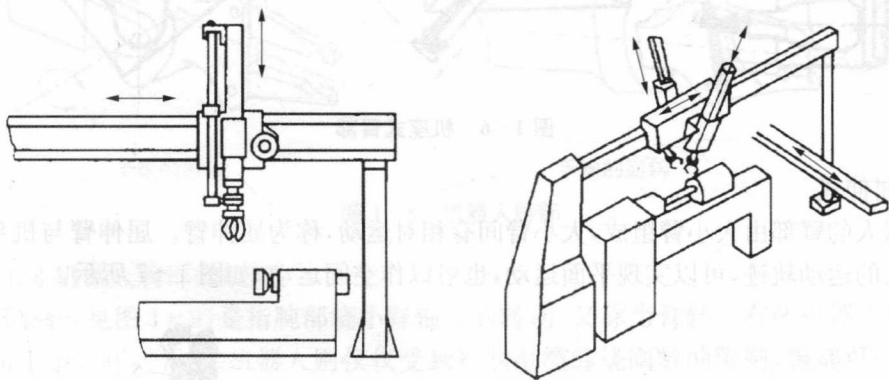


图 1-4 横梁式臂部

横梁可以是固定的,也可以是行走的,一般横梁安装在厂房原有建筑的柱梁或有关设备上,也可从地面上架设。

#### 2) 立柱式

立柱式机器人多采用回转型、俯仰型或屈伸型的运动形式,是一种常见的配置形式。常分为单臂式和双臂式两种,如图 1-5 所示。一般臂部都可在水平面内回转,具有占地面小而工作范围大的特点。

立柱可固定安装在空地上,也可以固定在床身上。立柱式结构简单,服务于主机承担上、下料或转运等工作。

#### 3) 机座式

这种机器人可以是独立的、自成系统的完整装置,可以随意安放和搬动,也可以沿地面上的专用轨道移动,以扩大其活动范围,如图 1-6 所示。

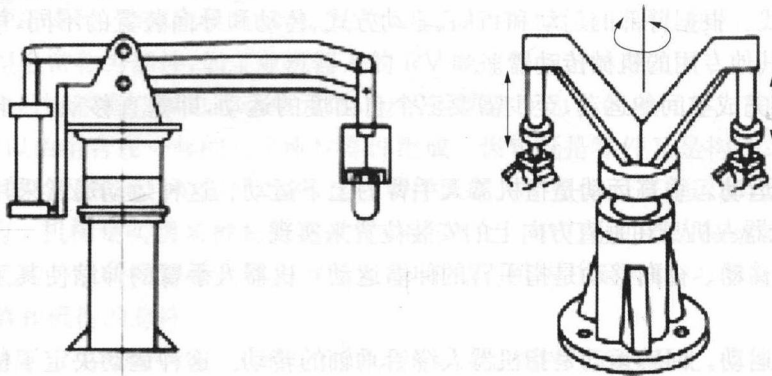


图 1-5 立柱式臂部

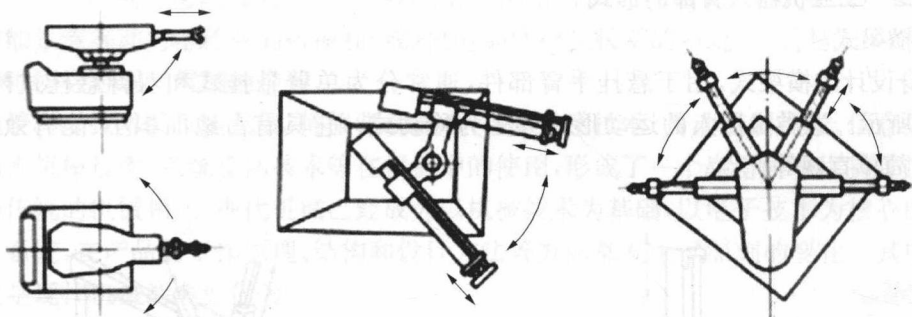


图 1-6 机座式臂部

4) 屈伸式

机器人的臂部由大小臂组成,大小臂间有相对运动,称为屈伸臂。屈伸臂与机身间关系到机器人的运动轨迹,可以实现平面运动,也可以作空间运动,如图 1-7 所示。

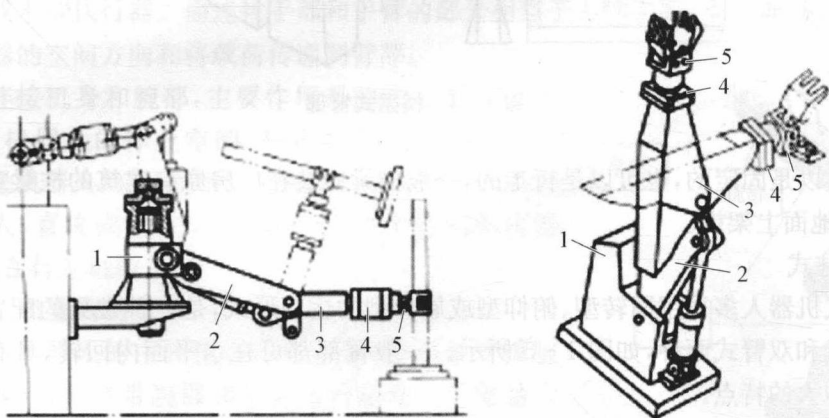


图 1-7 屈伸式臂部

1.2.3 机器人腕部

腕部是臂部与手部的连接部件,起支撑手部和改变手部姿态的作用。为了使手部能处于空间任意方向,要求腕部能实现对空间三个坐标轴 X、Y、Z 的转动,即具有偏转(yaw)、

俯仰(pitch)和回转(roll)三个自由度。

如图 1-8 所示,三个回转方向:臂转、手转和腕摆。工业机器人一般具有 6 个自由度才能使手部(末端执行器)达到目标位置和处于期望的姿态使手部能处于空间任意方向,要求腕部能实现对空间 3 个坐标轴  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的旋转运动。

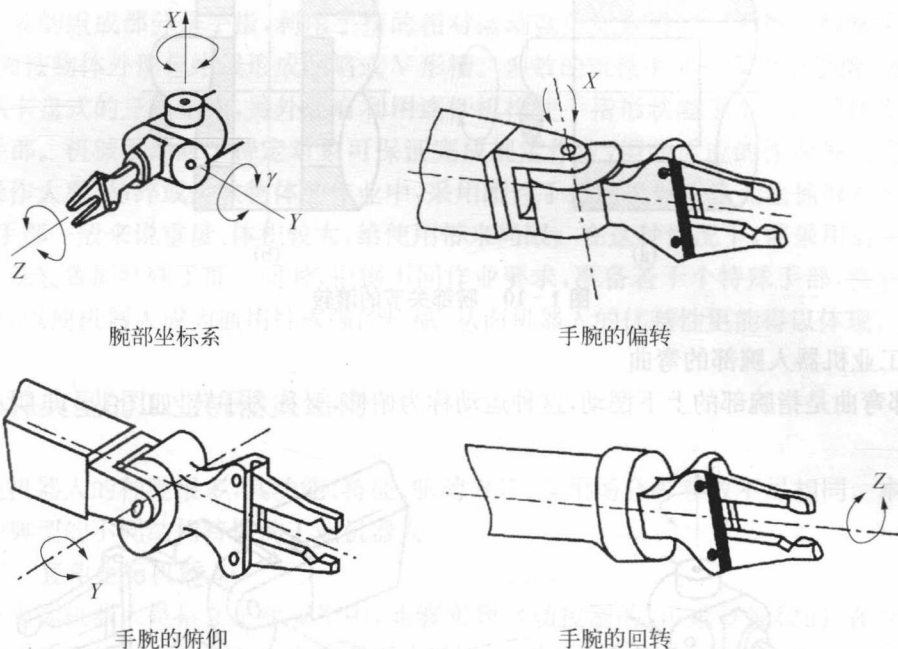


图 1-8 机器人腕部

### 1) 工业机器人腕部的旋转

腕部旋转(见图 1-9)是指腕部绕小臂轴线的转动,又称为臂转。有些机器人限制其腕部转动角小于  $360^\circ$ ,另一些机器人则仅仅受到控制电缆缠绕圈数的限制,腕部可以转几圈。按腕部转动特点的不同,用于腕部关节的转动又可细分为滚转和弯转两种。

弯转是指两个零件的几何回转中心和其相对转动轴线垂直的关节运动。由于受到结构限制,其相对转动角度一般小于  $360^\circ$ 。弯转通常用  $B$  来标记,如图 1-9 所示。

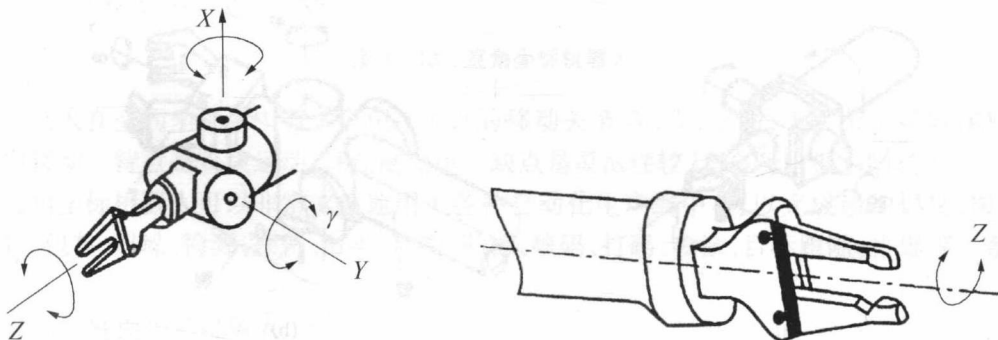


图 1-9 腕部旋转

滚转是指组成关节的两个零件自身的几何回转中心和相对运动的回转轴线重合,因而实现  $360^\circ$ 。无障碍旋转的关节运动,通常用  $R$  来标记,如图 1-10 所示。

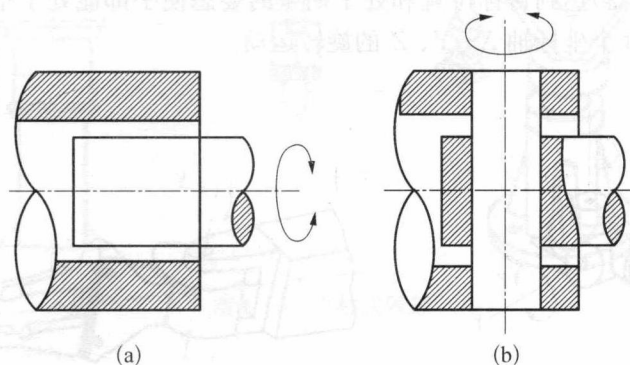


图 1-10 腕部关节的滚转

## 2) 工业机器人腕部的弯曲

腕部弯曲是指腕部的上下摆动,这种运动称为俯仰,又称为手转,如图 1-11 所示。

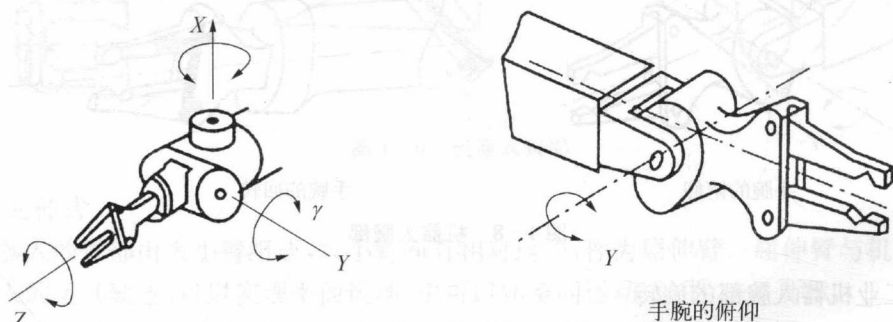


图 1-11 手转

## 3) 工业机器人腕部的侧摆

腕部侧摆指机器人腕部的水平摆动,又称为腕摆,如图 1-12 所示。腕部的旋转和俯仰两种运动结合起来可以视为侧摆运动,通常机器人的侧摆运动由一个单独的关节提供。

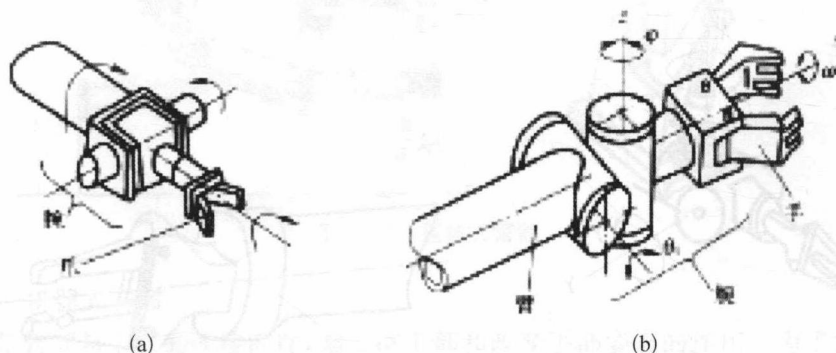


图 1-12 腕摆

### 1.2.4 工业机器人的手部

机器人的手部是指安装于机器人手臂末端,直接作用于工作对象的装置,又称为末端执行器。工业机器人所要完成的各种操作,最终都必须通过手部得以实现。

工业机器人的手部主要包括机械手部和特殊手部。机械手部是目前应用最广的手部形式,可见于多种的生产线机器人中。它主要是利用开闭的机械机构,来实现特定物体的抓取。其主要的组成部分是手指,利用手指的相对运动就可抓取物体。手指一般常采用刚性的,抓取面按物体外形包络线形成凹陷或 V 形槽。多数的机械手部只有两个手指,有时也使用像三爪卡盘式的三指结构,另外还有利用连杆机构使手指形状随手指开闭动作发生一定变化的手部。机械手部对于特定对象可保证完成规定作业,但能适应的作业种类有限。在要求能操作大型、易碎或柔软物体的作业中,采用刚性手指的机械手是无法抓取对象的。同时,机械手部一般来说重量、体积较大,给使用带来局限。在这种情况下,需采用适合所要求作业的特殊装置即特殊手部。同时,根据不同作业要求,准备若干个特殊手部,将它们替换安装,即可以使机器人成为通用性很强的机械,从而机器人的优越性更能得以体现。

## 1.3 几种典型的工业机器人结构

工业机器人的种类很多,其功能、特征、驱动方式、应用场合等参数不尽相同。本节主要介绍几种典型的具有不同结构特征的工业机器人。

### 1.3.1 直角坐标机器人

直角坐标机器人是指在工业应用中,能够实现自动控制的、可重复编程的、在空间上具有相互垂直关系的三个独立自由度的多用途机器人,其结构如图 1-13 所示。

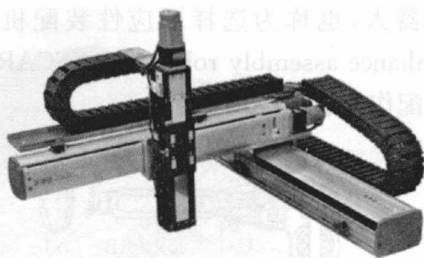
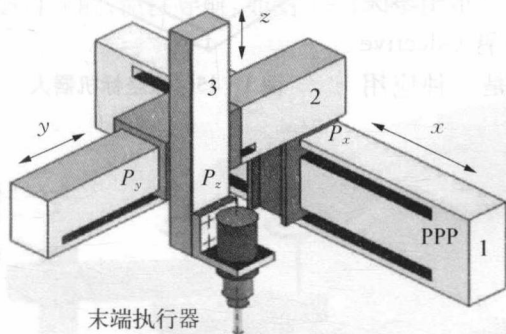


图 1-13 直角坐标机器人

机器人在空间坐标系中有三个相互垂直的移动关节 X、Y、Z,每个关节都可以在独立的方向移动。特点是直线运动、其控制简单。缺点是灵活性较差,自身占据空间较大。

直角坐标机器人可以非常方便地用于各种自动化生产线中,可以完成诸如焊接、搬运、上下料、包装、码垛、检测、探伤、分类、装配、贴标、喷码、打码、喷涂、目标跟随、排爆等一系列工作。

### 1.3.2 柱面坐标机器人

柱面坐标机器人是指轴能够形成圆柱坐标系的机器人,如图 1-14 所示。其结构主要

由一个旋转机座形成的转动关节和垂直、水平移动的两个移动关节构成。柱面坐标机器人末端执行器的姿态由 $(Z、r、\theta)$ 决定。

柱面坐标机器人具有空间结构小、工作范围大、末端执行器速度高、控制简单、运动灵活等优点。缺点在于工作时，必须有沿 $r$ 轴线前后方向的移动空间，空间利用率低。

目前，圆柱坐标机器人主要用于重物的装卸、搬用等工作作业。著名的 Versatran 机器人就是一种典型的柱面坐标机器人。

1.3.3 极坐标机器人

极坐标机器人(见图 1-15)一般由两个回转关节和一个移动关节构成，其轴线按极坐标配置， $R$  为移动坐标， $\beta$  是手臂在铅垂面内的摆动角， $\theta$  是绕手臂支撑底座垂直的转动角。这种机器人运动所形成的轨迹表面是半球面，所以又称为球坐标型机器人。

坐标机器人同样占用空间小，操作灵活且范围大，但运动学模型较复杂，难以控制。

1.3.4 多关节型机器人

关节机器人，也称关节手臂机器人或关节机械手臂，是当今工业领域中应用最为广泛的一种机器人。多关节型机器人按照关节的构型又可分为垂直多关节型机器人和水平多关节型机器人，如图 1-16 所示，其中水平多关节机器人，也称为选择顺应性装配机器人手臂 (slective copmliance assembly robot arm, SCARA)，是一种应用于装配作业的机器人手臂。

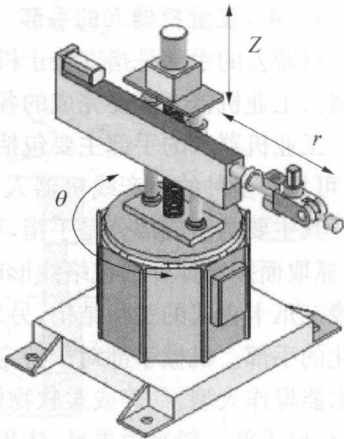


图 1-14 柱面坐标机器人

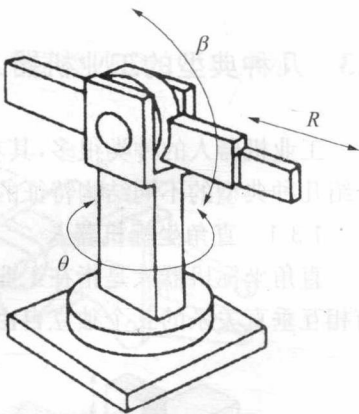


图 1-15 极坐标机器人

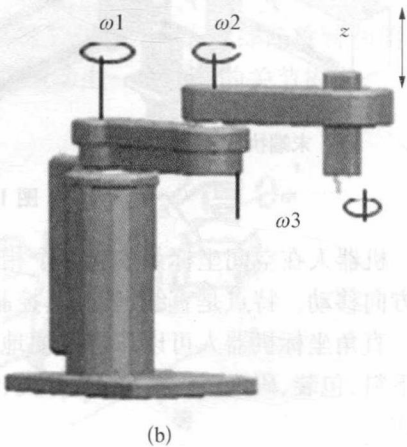
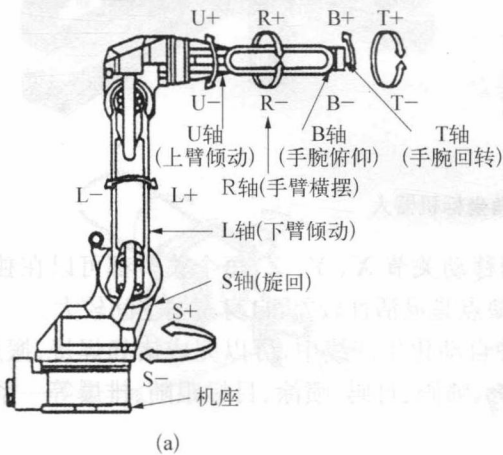


图 1-16 多关节型机器人

(a) 垂直多关节型机器人; (b) 水平多关节型机器人

多关节机器人同样占用空间小,操作灵活且范围大,但运动学模型较复杂,难以控制。机器人由多个旋转和摆动关节组成,其结构紧凑、工作空间大、动作接近人类,工作时能绕过机座周围的一些障碍物,对装配、喷涂、焊接等多种作业都有良好的适应性,且适合电机驱动,关节密封、防尘比较容易。

目前,瑞士 ABB、德国 KUKA、日本安川、国内的一些公司都在推出这类产品。

### 1.3.5 并联机器人

并联机器人是近年来发展起来的一种由固定机座和具有若干自由度的末端执行器以不少于两条独立运动链连接形成的新型机器人,如图 1-17 所示。

并联机器人具有以下特点:

- (1) 无累积误差,精度较高。
- (2) 驱动装置可置于定平台上或接近定平台的位置,运动部分重量轻,速度高,动态响应好。
- (3) 结构紧凑,刚度高,承载能力大。
- (4) 具有较好的各向同性。
- (5) 工作空间较小。



图 1-17 并联机器人

### 1.3.6 AGV

AGV(automated guided vehicle,自动导引运输车),是指装备有电磁或光学等自动导引装置,能够沿规定的导引路径行驶,具有安全保护以及各种移载功能的运输车。当前最常见的应用如 AGV 搬运机器人或 AGV 小车,主要功能集中在自动物流搬运,AGV 搬运机器人是通过特殊地标导航自动将物品运输至指定地点,最常见的引导方式为磁条引导、激光引导、磁钉导航、惯性导航,如图 1-18 所示。



图 1-18 AGV

## 1.4 工业机器人机械设计原则及指标

工业机器人机械设计的最终目的是为市场提供优质高效、价廉物美的产品,使其在市场

竞争中取得优势,赢得用户,取得良好的经济效益。

产品的质量和经济效益取决于设计、制造和管理的综合水平,而产品设计则是关键。没有高质量的设计,就不可能有高质量的产品,没有经济观念的设计者,绝不可能设计出性价比高的产品。据统计,约有 50% 的产品质量事故是由设计不当造成的;产品的成本 60%~70% 取决于设计。因此,在工业机器人机械设计中,特别强调和重视从系统的观点出发,合理地确定系统的功能;注意新技术、新工艺及新材料等的采用;努力提高产品的可靠性、经济性及安全性。

#### 1.4.1 工业机器人机械设计原则

工业机器人机械设计原则如下所述。

(1) 最小运动惯量原则。由于操作机运动部件多,运动状态经常改变,必然产生冲击和振动,采用最小运动惯量原则,可增加操作机运动平稳性,提高操作机动力学特性。为此,在设计时应注意在满足强度和刚度的前提下,尽量减小运动部件的质量,并注意运动部件对转轴的质心配置。

(2) 尺度规划优化原则。当设计要求满足一定工作空间要求时,通过尺度优化以选定最小的臂杆尺寸,这将有利于操作机刚度的提高,使运动惯量进一步降低。

(3) 高强度材料选用原则。由于操作机从手腕、小臂、大臂到机座是依次作为负载起作用的,选用高强度材料以减轻零部件的质量是十分必要的。

(4) 刚度设计的原则。操作机设计中,刚度是比强度更重要的问题,要使刚度最大,必须恰当地选择杆件剖面形状和尺寸,提高支撑刚度和接触刚度,合理地安排作用在臂杆上的力和力矩,尽量减少杆件的弯曲变形。

(5) 可靠性原则。机器人操作机因机构复杂、环节较多,可靠性问题显得尤为重要。一般来说,元器件的可靠性应高于部件的可靠性,而部件的可靠性应高于整机的可靠性。可以通过概率设计方法设计出可靠度满足要求的零件或结构,也可以通过系统可靠性综合方法评定操作机系统的可靠性。

(6) 工艺性原则。机器人操作机是一种高精度、高集成度的自动机械系统,良好的加工和装配工艺性是设计时要体现的重要原则之一。仅有合理的结构设计而无良好的工艺性,必然导致操作机性能的降低和成本的提高。

#### 1.4.2 技术指标

##### 1) 自由度

自由度是反映工业机器人机械本体的通用性和适应性的一项重要指标。所谓自由度,是指机器人所具有的独立坐标轴的数目(不包括末端执行器的自由度),是用来确定手部相对于基座的位置和姿态的独立参变数的数目,它等于工业机器人机械本体独立驱动的关节数目。机器人的每一个自由度原则上都需要有一个伺服轴驱动其运动,因此,在产品说明书中,通常以控制轴数进行表示。

自由度越多,执行器的动作就越灵活,通用性也就越好,但其机械结构和控制也就越复杂。因此对于作业要求基本不变的批量作业机器人来说,运动速度、可靠性是其最重要的技术指标,其自由度可在满足作业要求的前提下,适当减少;而对于多品种、小批量作业的机器人,通用性、灵活性指标显得更加重要,这样的机器人就需要较多的自由度,机器人