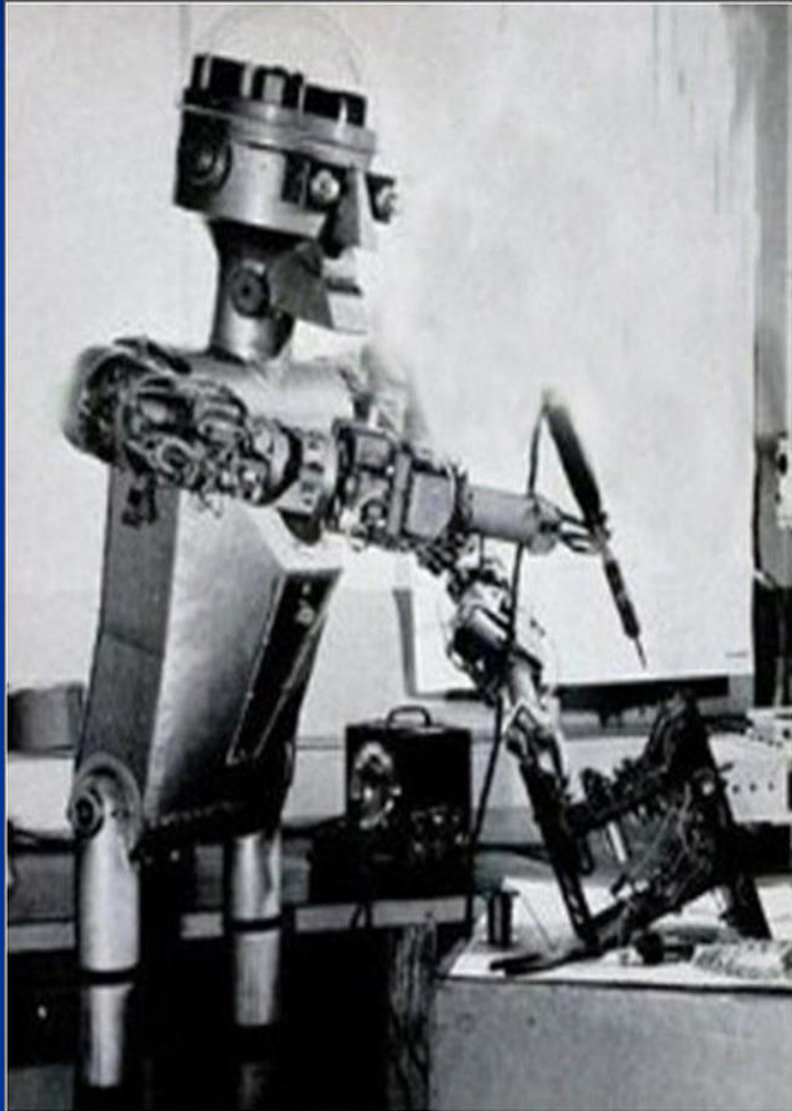


南昌理工学院

Nanchang Institute of Technology



工业机器人

机电工程学院

第二章 工业机器人机械系统设计

2.1 工业机器人总体设计

2.2 驱动机构

2.3 机身和臂部设计

2.4 腕部设计

2.5 手部设计

2.6 行走机构设计

- 工业机器人是一种自动化程度很高的机械产品，其设计流程既应该符合机械产品设计的一般流程，又具有其**特殊性**。
- 这里主要讨论工业机器人的机械系统设计，并且关注的是其设计流程，工业机器人机械系统的设计阶段可大致分为**总体设计**和**详细设计**。

对于机器人来说其机械系统**总体设计**主要内容有：确定基本参数、选择运动方式、手臂配置形式（构型）、驱动方式和机械结构设计等，具体如下：

- 1、根据机器人**工作任务和目的**来确定机器人本体的基本构型、驱动和控制方式、自由度数目。
- 2、根据机器人的**共作任务**、工作场地的空间布置等来确定**机器人的工作空间**。
- 3、根据机器人的工作任务来对机器人进行**动作规划**、制定各自由度的工作节拍、分配各动作时间，初步确定各自由度的运动速度。
- 4、根据机器人的工作空间，初步**确定机器人各部分（各臂）**的长度尺寸。

5、对机器人进行初步受力分析，根据受力分析结果及各关节的运动速度，选择各关节驱动部件的基本参数（电动机和减速器的选型计算），对于速度较低的可以进行静力（Statics）分析，对于速度较高的机械，各构件的惯性力影响比较大，要进行动力学分析（Dynamics）。

6、根据工作要求确定机器人的定位精度。定位精度取决于机器人的定位方式、运动速度、控制方式、机器人手臂的刚度等。

7、根据技术要求等确定各零件的材料和结构及加工工艺；然后验算各构件的机械强度、驱动功率和最大负载重量，验算机器人各关键部件的使用寿命。初步确定各构件的机械结构。

8、把机器人机械系统总体设计编写成文，编制技术（设计）任务书，并绘制系统总图（草图）、简图（草图）。

2.1 工业机器人总体设计

一、系统分析

根据工业机器人需要先进行综合的**技术**和**经济**分析，一旦确定采用，设计人员在开始**技术设计**之前应进行如下工作：

1. 根据使用场合，确定机器人的**目的**和**任务**；
2. 分析机器人所在系统的工作环境，包括机器人与已有设备的**兼容性**；
3. 分析系统的工作要求，确定机器人的基本功能和方案，准备做**技术设计**；
4. 进行必要的调查研究，搜集国内外的有关资料，进行综合分析，找出可供**借鉴之处**，以及别人的**经验教训**；

2.1 工业机器人总体设计

二、技术设计

1. 确定机器人的基本参数（自由度数目、工作范围、承载能力、运动速度、定位精度等）；
2. 确定机器人的运动形式（五种基本结构）；
3. 拟定传感系统框图；
4. 确定控制系统总体方案；
5. 机械结构设计（驱动方式、机器人总装图、主要零部件图）
6. 平衡系统设计

2.1 工业机器人总体设计

6.1 工业机器人平衡系统的作用：

- ◆ 安全；
- ◆ 降低因各种因素而导致关节驱动力矩变化的峰值；
- ◆ 借助平衡系统，改进机器人的动力特性；
- ◆ 减小结构柔性所引起的不良影响；
- ◆ 使机器人运行平稳。

6.2 平衡系统设计的主要途径：

- ◆ 质量平衡技术；
- ◆ 弹簧力平衡技术；
- ◆ 可控力平衡技术；

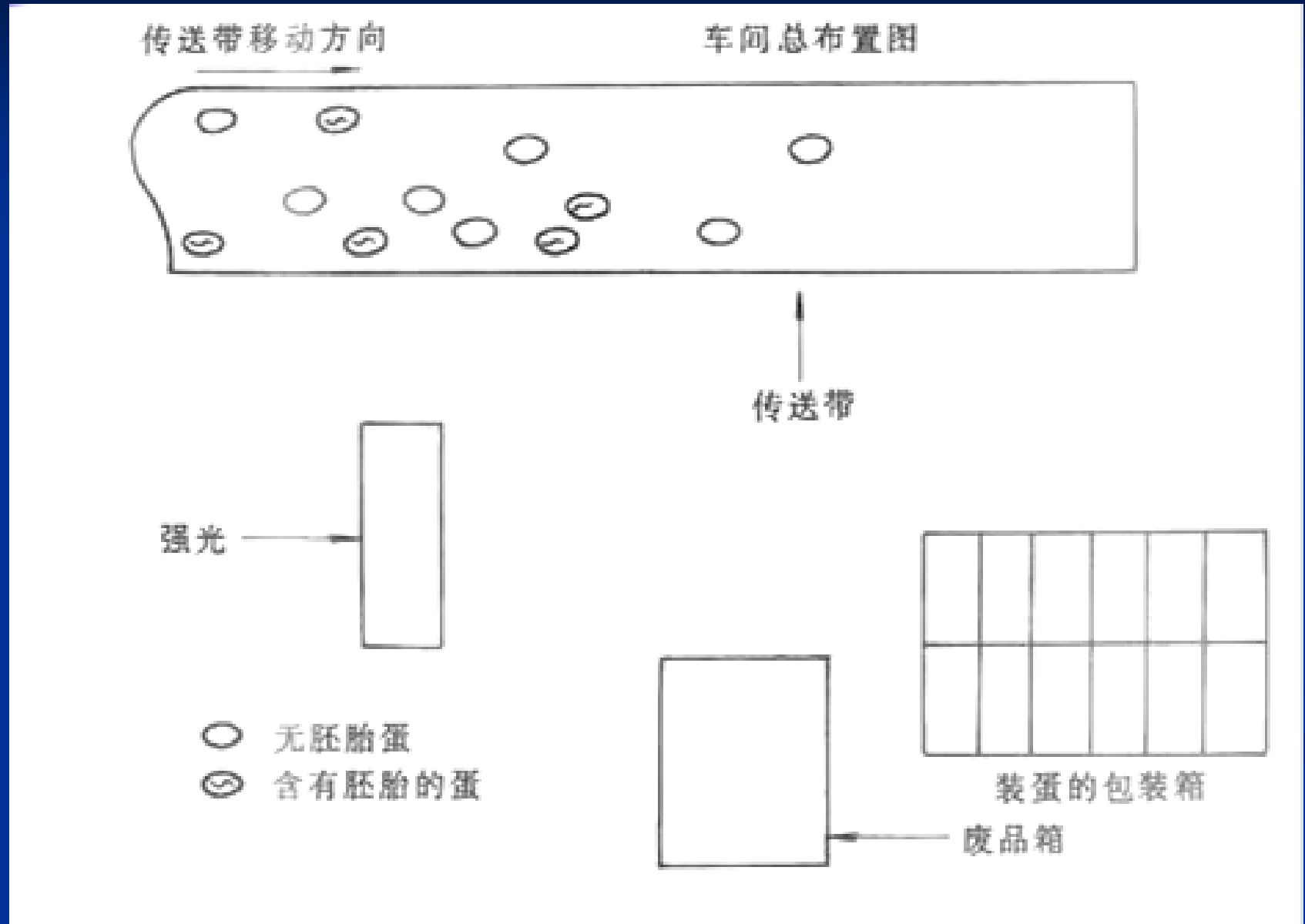
举例: 鸡蛋分拣包装系统中的机器人

下面以鸡蛋分拣包装系统为例，介绍机器人的系统分析方法

◆ 明确机器人的目的和任务:

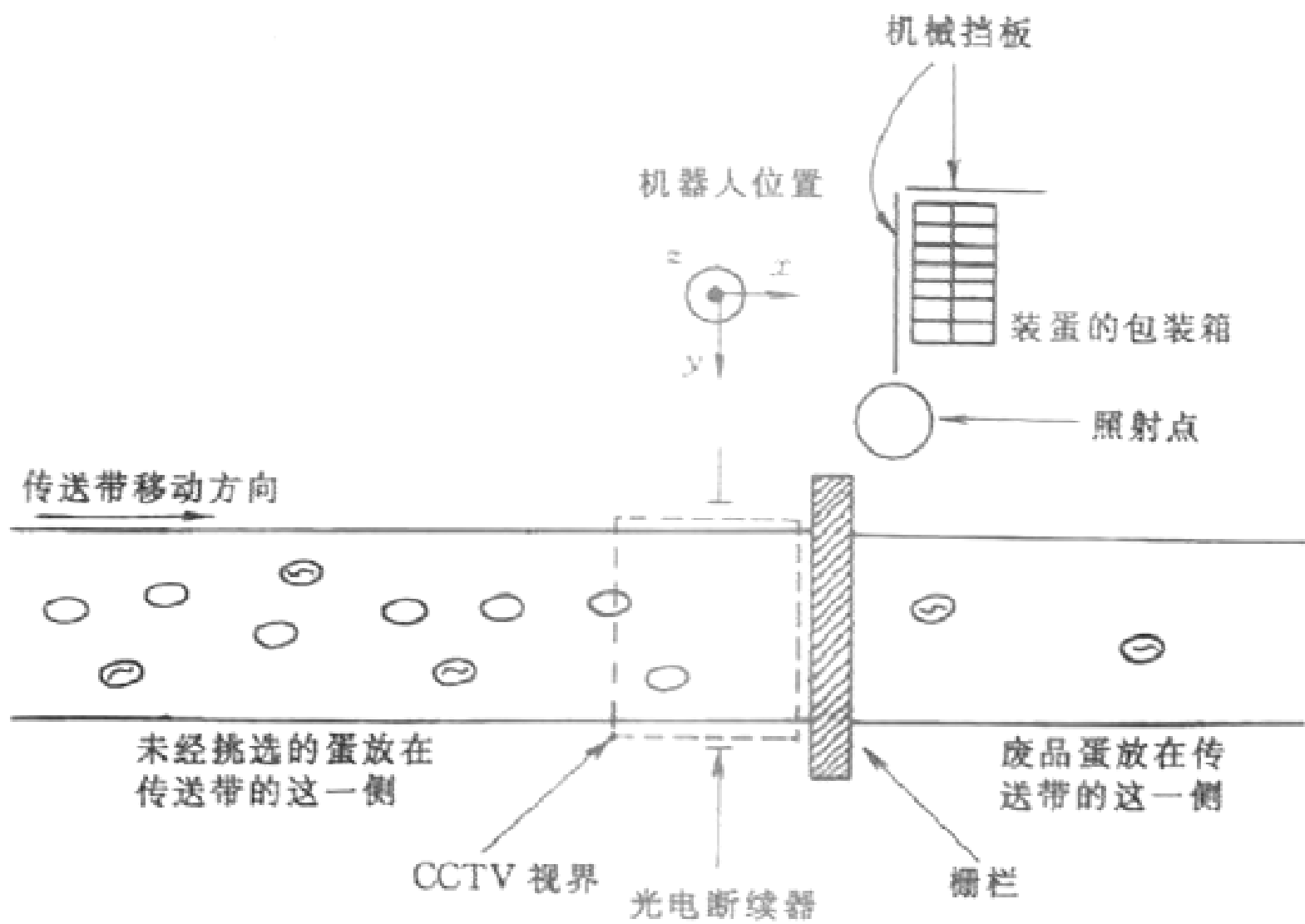
- 从传送带拾取一个鸡蛋;
- 把鸡蛋置于强光下照射，测定鸡蛋是否透光（有无胚胎生长）；
- 根据鸡蛋有无胚胎，把鸡蛋放入废品箱或包装箱内；

举例示图1: 基本工作流程



举例: 鸡蛋分拣包装系统中的机器人

- ◆ 分析机器人所在系统的工作环境：包括工作车间的平面布置，相互间的位置关系等



举例: 鸡蛋分拣包装系统中的机器人

分析系统的工作要求

- ◆ 循环时间: 小于等于3.0s
- ◆ 每次循环有三种不同的运动:
 - ⑩移动到传送带并拾取一只鸡蛋
 - ⑩移动到照射位置
 - ⑩把鸡蛋放入纸箱或废品区
- ◆ 一个循环中需要三次暂停: 闭合手爪0.2s; 完成照射0.05s; 开启手爪放蛋0.2s
- ◆ 每只鸡蛋重量小于等于85g; 手爪重量小于等于369g
- ◆ 位置分辨率最低为1.27mm

确定机器人的自由度及运动范围

- ◆ **初步分析：** 机器人满足上面提出的条件，应该具备一个旋转运动和两个直线运动
- ◆ **仔细分析：** 还应该有一个附加旋转运动以对鸡蛋进行定向排列。因为当手臂移动和转动时，鸡蛋的取向会发生改变
- ◆ **确定技术参数为：**
 - **伸缩运动：** 45.7—61.0cm
 - **腰部运动：** $\pm 90^\circ$
 - **腕部运动：** 360°
 - **腕部垂直移动：** 50.8cm

第二章 工业机器人机械系统设计

2.1 工业机器人总体设计

2.2 驱动机构

2.3 机身和臂部设计

2.4 腕部设计

2.5 手部设计

2.6 行走机构设计

2.2 驱动机构

作用：驱动机构用于把驱动原件的运动传递到机器人的关节和动作部位；

分类：按实现的运动方式分为**直线驱动机构**和**旋转驱动机构**

2.2 驱动机构

2.2.1、各种驱动方式及其优缺点

(一) 液压驱动

优点：

- ◆ 体积小，可以获得较大的推力和转矩；
- ◆ 介质的可压缩性小，系统工作稳定可靠，精度高；
- ◆ 容易实现对力、速度、方向的自动控制；
- ◆ 油液介质使系统具有防锈蚀和自润滑性能；

缺点：

- ◆ 油液的黏度受温度影响，影响工作性能；
- ◆ 液体泄漏难以克服，要求液压元件制造精度高；
- ◆ 需要提供相应的供油系统和严格的滤油装置；

2.2.1、各种驱动方式及其优缺点

(二) 气压驱动

优点：

- ◆ 压缩空气黏度小，容易达到高速（1m/s）；
- ◆ 工厂一般都自有空气压缩机组，可提供压缩空气，不必再额外的添加动力设备，而且空气介质对环境无污染，使用安全；
- ◆ 气动元件工作压力低，因此制造要求也低一些，价格低廉；
- ◆ 空气具有压缩性，是系统能够实现过载自动保护；

缺点：

- ◆ 压缩空气一般为0.4~0.6Mpa，要想获得较大的压力，结构就要增大；
- ◆ 空气具有压缩性，工作平稳性差，速度控制困难，要实现准确的位置控制更困难；
- ◆ 压缩空气排水比较麻烦；
- ◆ 排气造成噪音污染；

2.2.1、各种驱动方式及其优缺点

(三) 电气驱动

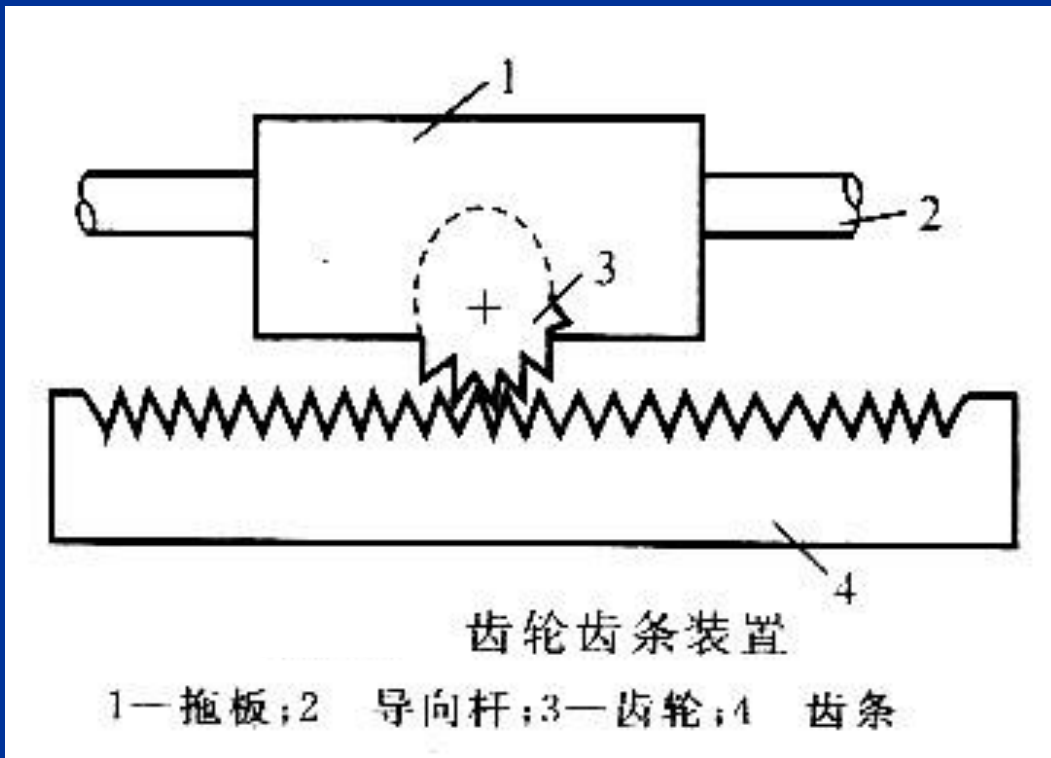
1. **步进电机**：多为开环控制，简单，功率较小，多用于低精度、小功率的机器人；
2. **直流伺服电机**：易于控制，有较理想的机械特性，但其电刷易磨损，易形成火花；
3. **交流伺服电机**：结构简单，运行可靠，可以频繁的启动、制动；

交流伺服电机和**直流伺服电机**相比：没有电刷等易磨损部件，外形尺寸小，能在重载下高速运行，加速性能好，能够实现动态控制和平滑运动，但控制较复杂；

2.2 驱动机构

2.2.2、直线驱动机构

1、齿轮齿条：旋转运动变为直线运动



2.2.2、直线驱动机构

2、普通丝杠（丝杠螺母副）传动

丝杠螺母副传动部件是把回转运动变换为直线运动的重要部件。

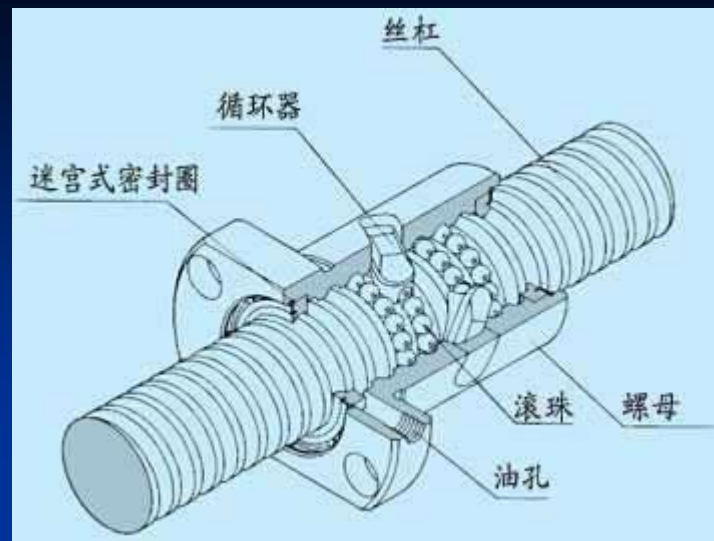
- ◆ 由于丝杠螺母机构是连续的面接触，传动中不会产生冲击，传动平稳，无噪声，并且能自锁；
- ◆ 由于丝杠的螺旋升角较小，所以用较小的驱动力矩，也可以获得较大的牵引力。
- ◆ 丝杠螺母的螺旋面之间的摩擦是滑动摩擦，所以传动效率较低。



2.2.2、直线驱动机构

3、滚珠丝杠传动

丝杠螺母副的改进：**滚珠丝杠**

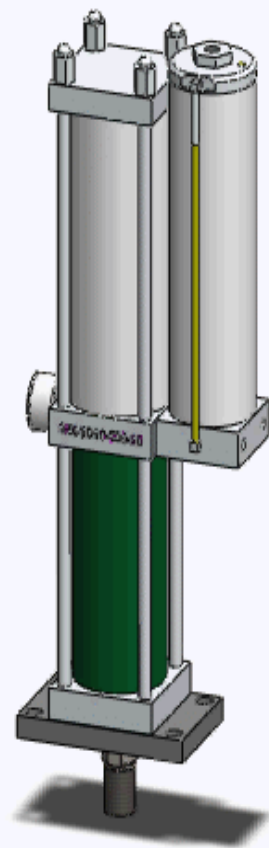


- ◆ 传动效率高，而且传动精度和定位精度都很高，在传动时灵敏度和平稳性也很好
- ◆ 由于滚珠丝杠的磨损小，其使用寿命比较长。
- ◆ 丝杠、螺母的材料、热处理和加工工艺要求很高，故成本较高。

2.2.2、直线驱动机构

4、液压（气压）缸

- ◆ 直线往复运动的执行元件
- ◆ 液压缸利用油泵将油压入油缸。利用帕斯卡原理（ $F_1/A_1=F_2/A_2$ ）。
- ◆ 优点是不需要润滑油，因为他的工作介质就是。能实现远程控制，能实现无级变速，无燥音等。



- ◆ 气压缸是利用空气压缩机将空气压入气缸的，原理也是利用帕斯卡原理。
- ◆ 优点有质量轻，价格低廉（工作介质随处可见）能实现远程控制等，缺点有噪音大等等

2.2.3、旋转驱动机构

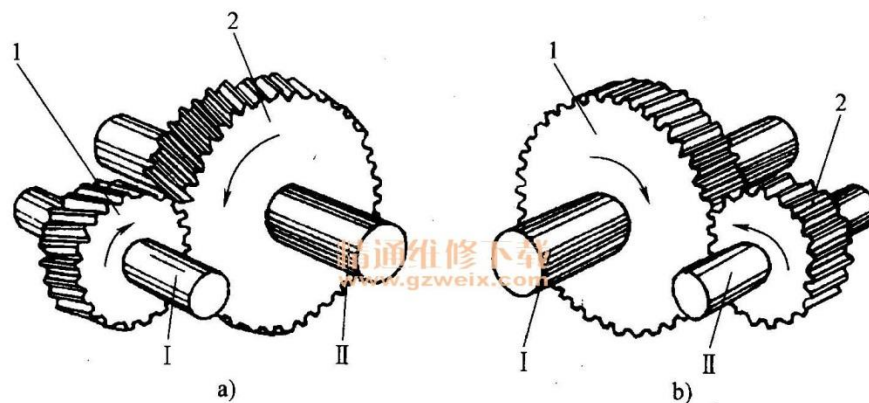
1、齿轮机构

齿轮机构不但可以传动运动角位移和角速度，还可以传动力和力矩

◆ 减小系统的等效转动惯量，驱动电动机的响应时间缩短，使得伺服系统更加容易控制

◆ 齿轮间隙误差导致机器人手臂的定位误差增加

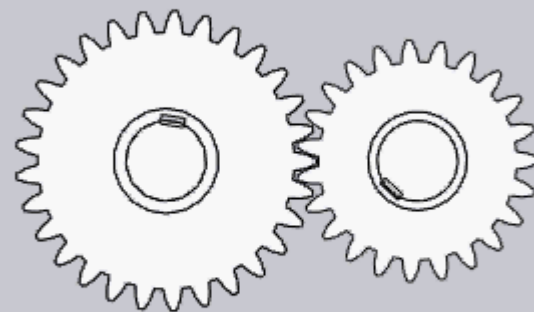
$$i_{12} = n_1/n_2 = z_2/z_1$$



齿轮传动的基本原理

a) 减速传动 b) 增速传动

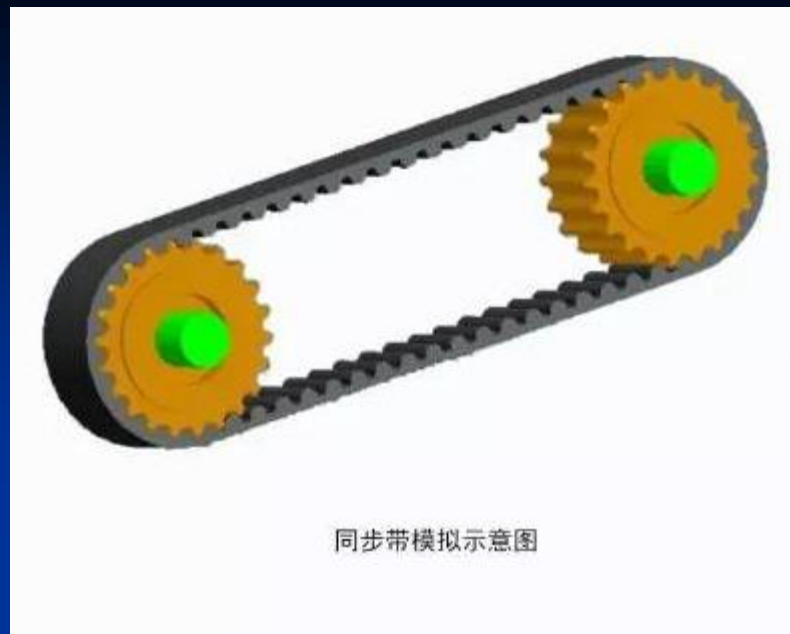
I—输入轴 II—输出轴 1—主动齿轮 2—从动齿轮



2.2.3、旋转驱动机构

2、同步带传动

在机器人中主要用来传递平行轴间的运动



- ◆ 传动时无滑动，传动比精确，传动平稳；速比范围大；初始拉力小，轴及轴承不易过载
- ◆ 制造及安装要求严格，对带的材料要求较高，成本高。

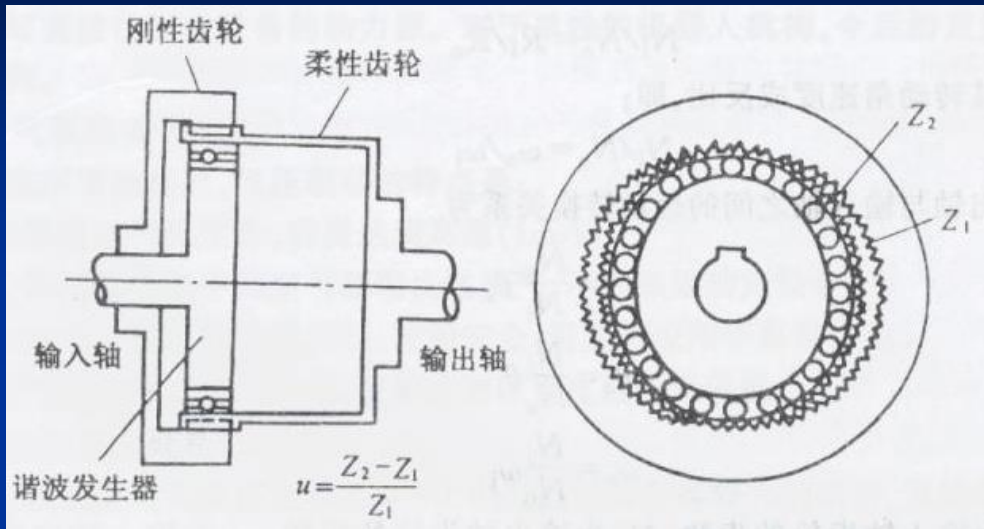
2.2.4、机器人中主要使用的减速器

一般电机是高转速、低力矩的驱动器，在机器人中要用减速器变成低转速、高力矩的驱动器。机器人对减速器的要求如下：

- ◆ 运动精度高，间隙小，以实现较高的重复定位精度；
- ◆ 减速比大；
- ◆ 体积小，重量轻，结构紧凑；

在工业机器人中，比较合乎要求且常用的减速器是行星齿轮机构和谐波传动机构，谐波传动在运动学上是一种具有柔性齿圈的行星传动。

1、谐波齿轮减速器



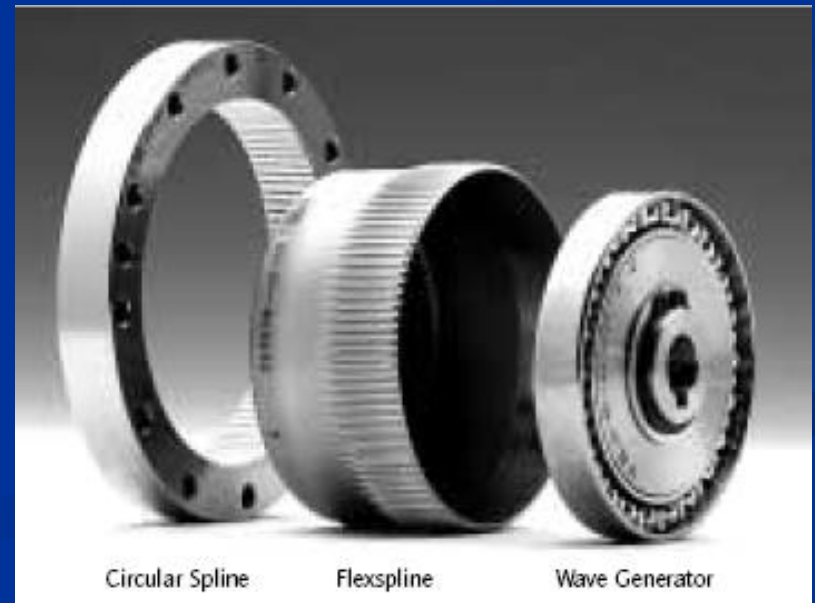
➤ 谐波发生器、柔性齿轮和刚性齿轮组成。

缺点：

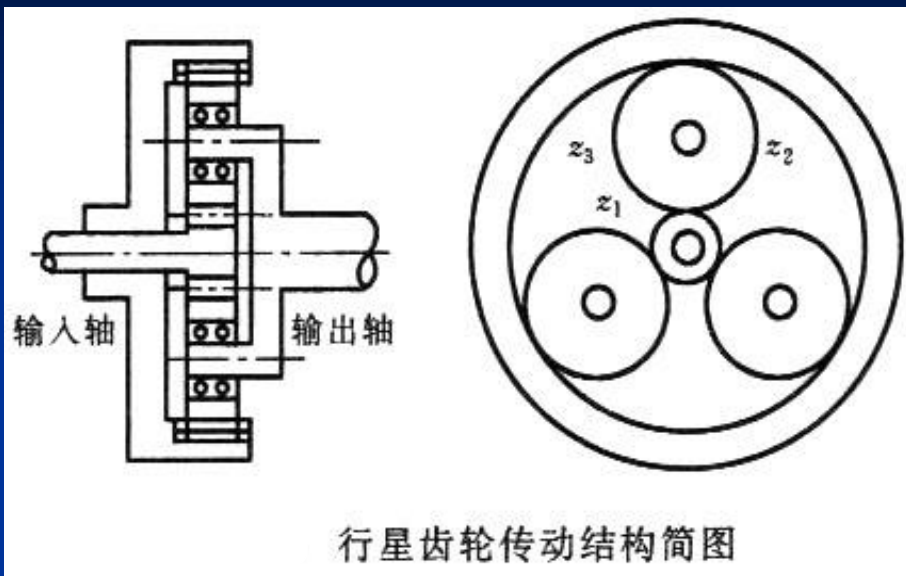
- ◆ 柔轮的疲劳问题；
- ◆ 扭转刚度低；
- ◆ 以输入轴速度2, 4, 6倍的啮合频率产生振动。

优点：

- 结构简单，尺寸小、惯量低；
- 传动比范围大
- 运动精度高，承载能力大
- 运动平稳，无冲击，噪声小
- 齿侧间隙可以调整



2、RV减速器



➤ **RV摆线针轮行星传动：**是由一级行星轮系再串联一级摆线针轮减速器组合而成的。

特点：一级传动比大，结构紧凑；载荷分布在若干个行星轮上，内齿轮也具有较高的承载能力；刚度大；运动精度高；传动效率高；回差小。

传动刚度较谐波传动要大2-6倍，但重量也增加了1-3倍



第二章 工业机器人机械系统设计

2.1 工业机器人总体设计

2.2 驱动机构

2.3 机身和臂部设计

2.4 腕部设计

2.5 手部设计

2.6 行走机构设计

2.3 机身与臂部设计

2.3.1、机身设计

工业机器人的机身也称立柱，机器人必须有一个便于安装的基础部件，这就是机器人的机座，机座往往与机身做成一体。机身是支承臂部的部件，常有1~3个自由度。机身设计要注意以下问题：

- ◆ 要有足够的刚度和稳定性；
- ◆ 运动要灵活，升降运动的导套长度不宜过短，避免发生卡死现象，一般要有导向装置；
- ◆ 结构布置要合理；

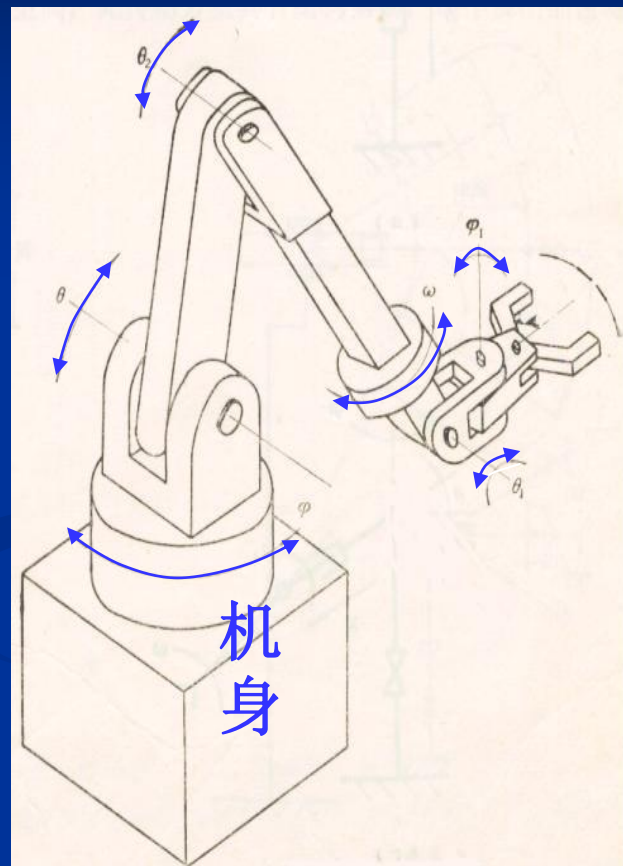
通常工业机器人的机身具有具有回转、升降、回转与升降、回转与俯仰、回转与升降及俯仰等5种运动方式，采用哪一种方式由工业机器人的总体设计来确定。

2.3.1 机身设计

1. 回转机身（关节型机身）

◆ 关节型机器人机身只有一个回转自由度，即腰部的回转运动。

◆ 根据驱动电机旋转轴线与减速器旋转轴线是否在一条线上，腰部关节电动机有**同轴式**（小型机器人）和**偏置式**（中、大型机器人）两种布置方案



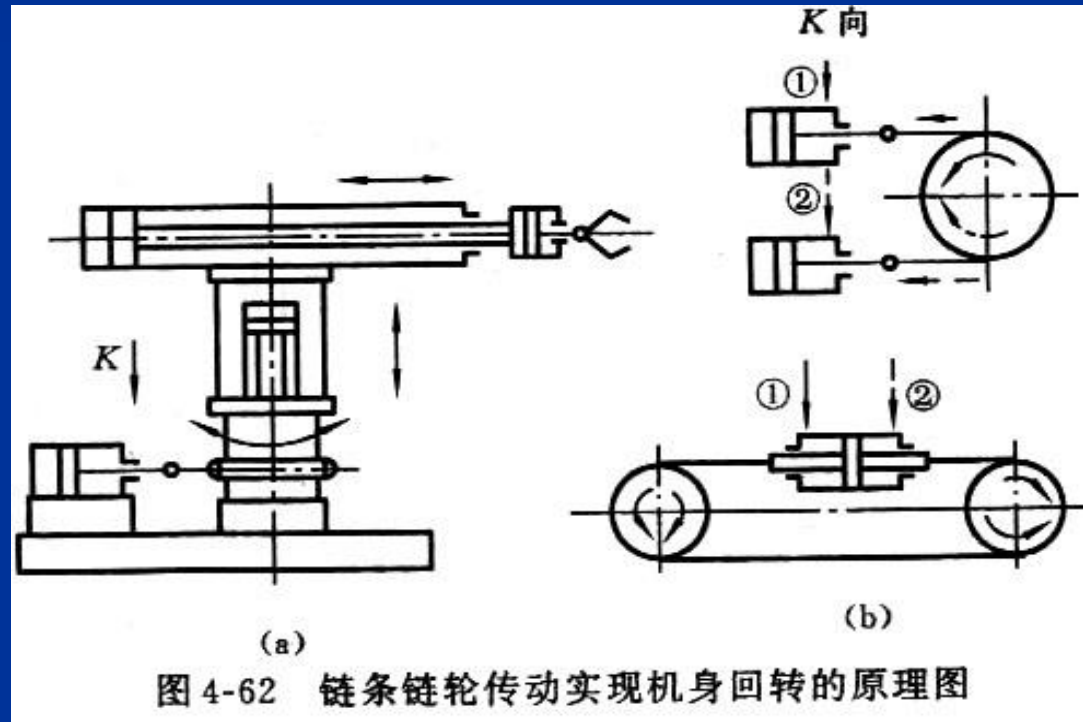
2.3.1、机身设计

2. 回转与升降机身（液压（气压）驱动或链条链轮传动）

◆ 回转运动采用摆动油缸驱动，升降油缸在下，回转油缸在上。因摆动油缸安装在升降活塞杆的上方，因此活塞杆的尺寸要加大；

◆ 回转运动采用摆动油缸驱动，回转油缸在下，升降油缸在上。相比之下，回转油缸的驱动力矩要设计得大一些；

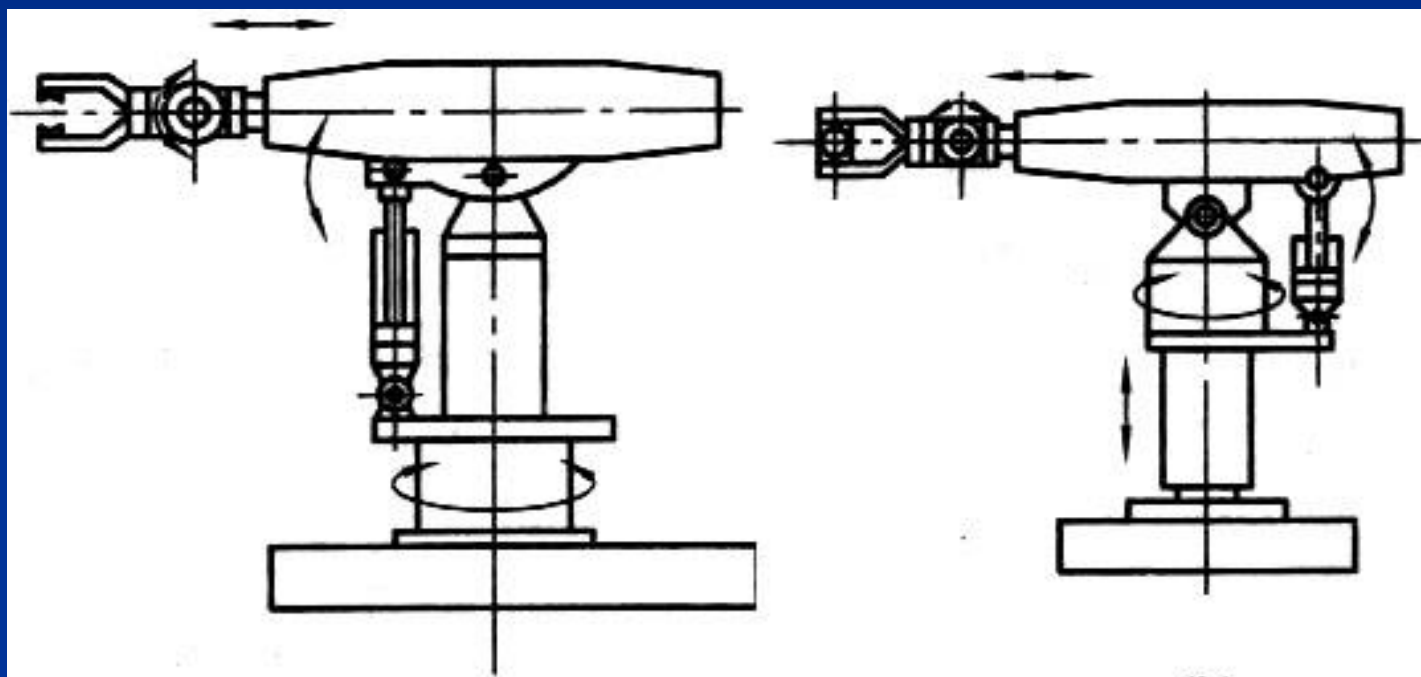
◆ 链轮传动机构；



2.3.1、机身设计

3、回转与俯仰机身（球极坐标型机身）

俯仰运动一般采用活塞缸与连杆机构来实现。



(a)

(b)

图 4-63 回转与俯仰机身示意图

2.3.1 机身设计

4、机身驱动力（力矩）的计算

① 垂直升降运动的驱动力的计算：作垂直运动时，除克服摩擦力 F_m 之外，还要克服机身自身运动部件的重力和其承受的手臂、手腕、手部、工件等总重力以及升降运动的全部部件的惯性力，因此其驱动力 P_q 的计算如下：

$$P_q = F_m + F_g \pm W$$

其中： F_m 一各支承处的摩擦力；

F_g 一启动时的总惯性力；

W 一运动部件的总重力；

\pm 一上升时为正，下降时为负。

2.3.1 机身设计

4、机身驱动力（力矩）的计算

② 回转运动的驱动力矩的计算：作回转运动时，驱动力矩只包括两项：回转部件的摩擦总力矩 M_m ；机身自身运动部件和其携带的手臂、手腕、手部、工件等总惯性力矩 M_g ，因此，其驱动力矩 M_q 计算方法为：

$$M_q = M_m + M_g$$

其中：
$$M_g = J_0 \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

2.3.1 机身设计

4、机身驱动力（力矩）的计算

③ 升降立柱下降过程不卡死的条件计算：偏重力矩是指臂部全部零部件与工件的总重量对机身立柱轴的静力矩。当手臂在最大行程位置时，偏重力矩最大，因此，偏重力矩按悬伸最大行程，最大抓重时进行计算。

$$\text{偏重力臂: } L = \frac{\sum G_i L_i}{\sum G_i}$$

$$\text{偏重力矩: } M = GL$$

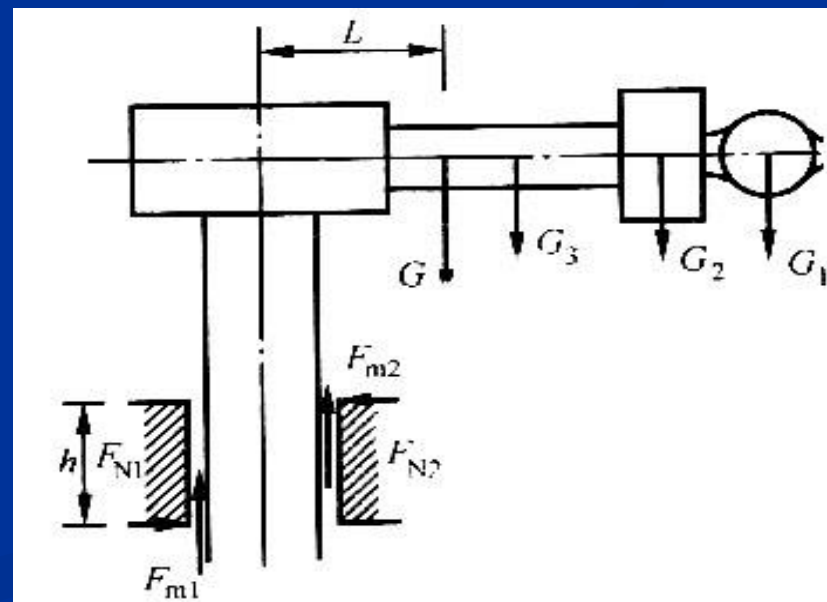


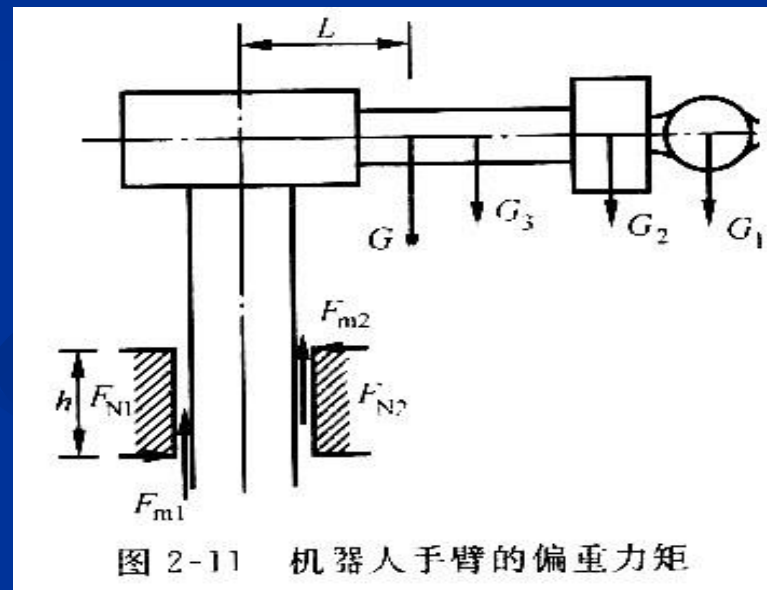
图 2-11 机器人手臂的偏重力矩

2.3.1 机身设计

4、机身驱动力（力矩）的计算

③ 升降立柱下降过程不卡死的条件计算：

手臂在总重量 G 的作用下，产生偏重力矩，导致立柱倾斜。如果偏重力矩过大，并且导套设计不合理（导套长度不够），立柱在导套中有卡住现象，这时，机身的升降驱动力必须增大，相应驱动及传动装置结构就庞大。如果机身下降靠重力的话，则可能立柱被卡死在导套内而不能作下降运动，这就是**自锁**。因此必须根据偏重力矩的大小决定立柱导套的长度。



2.3 机身与臂部设计

4、机身驱动力（力矩）的计算

③ 升降立柱下降过程不卡死的条件计算：

根据立柱平衡条件可知： $F_{N1}h = GL$

因此：
$$F_{N2} = F_{N1} = \frac{L}{h}G$$

要使立柱在导套内自由下降，则臂部总重量必须大于导套与立柱之间的摩擦力，这就是升降立柱靠自重下降而不卡死的条件为：

$$G > F_{m1} + F_{m2} = 2F_{N1}f = 2\frac{L}{h}Gf$$

即： $h > 2fL$

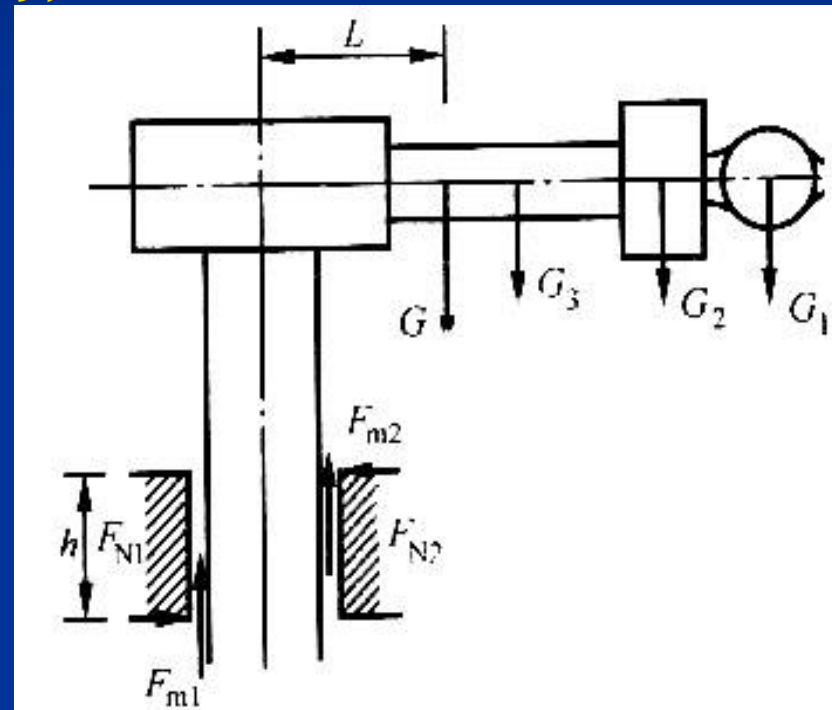


图 2-11 机器人手臂的偏重力矩

2.3.2 臂部设计

一、臂部设计的基本要求

臂部的结构形式需根据机器人的**运动形式**、**抓取重量**、**动作自由度**、**运动精度**等因素来确定。同时还要考虑**臂部的受力情况**、**油(气)缸及导向装置的布置**、**内部管路与手腕的连接形式**等因素。

- ◆ **刚度要求高**：为防止臂部在运动过程中产生过大的变形，手臂的截面形状必须合理选择。常采用工字钢、空心管。
- ◆ **导向性要好**：为防止手臂在直线运动中，沿运动轴线发生相当转动，需要设置导向装置。
- ◆ **重量要轻**：为提高机器人的运动速度，要尽量减轻臂部运动部分的重量，以减小整个臂部对回转轴的转动惯量。
- ◆ **运动要平稳、定位精度要高**：由于臂部运动速度越高，惯性力引起定位前的冲击也就越大，导致运动不平稳，定位精度也不高。此时需要采用一定形式的缓冲措施。

2.3.2 臂部设计

二、关节型机器人臂部的典型结构

肩关节和肘关节电动机布置

对于开式连杆结构，肩关节（大臂关节）位于腰部的支座上，多采用RV减速器传动、谐波传动或摆线针轮传动；也可采用滚动螺旋组合连杆机构或直接应用齿轮机构。

肘关节（小臂关节）位于大臂与小臂的联接处，多采用谐波传动、摆线针轮或齿轮传动等。

➤ 关节结构形式有：

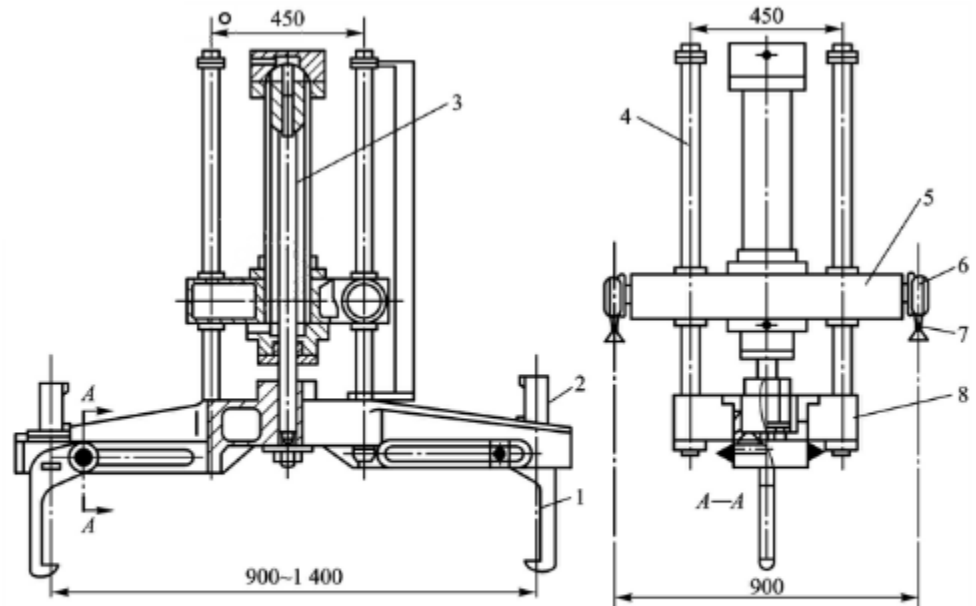
- 1、同轴式配置——电机轴线与关节轴线重合。
- 2、偏置式配置——电机轴线与关节轴线偏离一定距离。

2.3.2 臂部设计

三、液压（气压）驱动的臂部典型结构

1. **手臂直线运动机构**：实现手臂直线运动的机构形式很多，常用的有活塞油(气)缸、齿轮齿条机构、丝杠螺母机构、连杆机构等。由于**活塞油(气)缸**的体积小，重量轻，因而在机器人的手臂结构中应用得比较多。

手臂的垂直伸缩运动由油缸3驱动，其特点是行程长，抓重大。工件形状不规则时，为了防止产生较大的偏重力矩，可采用四根导向柱。这种结构多用于箱体加工线上。



四导向柱式臂部伸缩机构

1—手部；2—夹紧缸；3—油缸；4—导向柱；5—运行架；6—行走车轮；7—轨道；8—支座

2.3.2 臂部设计

2. **手臂转动运动机构**：实现手臂转动运动的机构形式也很多，常用的有叶片式回转缸、齿轮传动机构、链轮传动机构、活塞缸与连杆机构等。

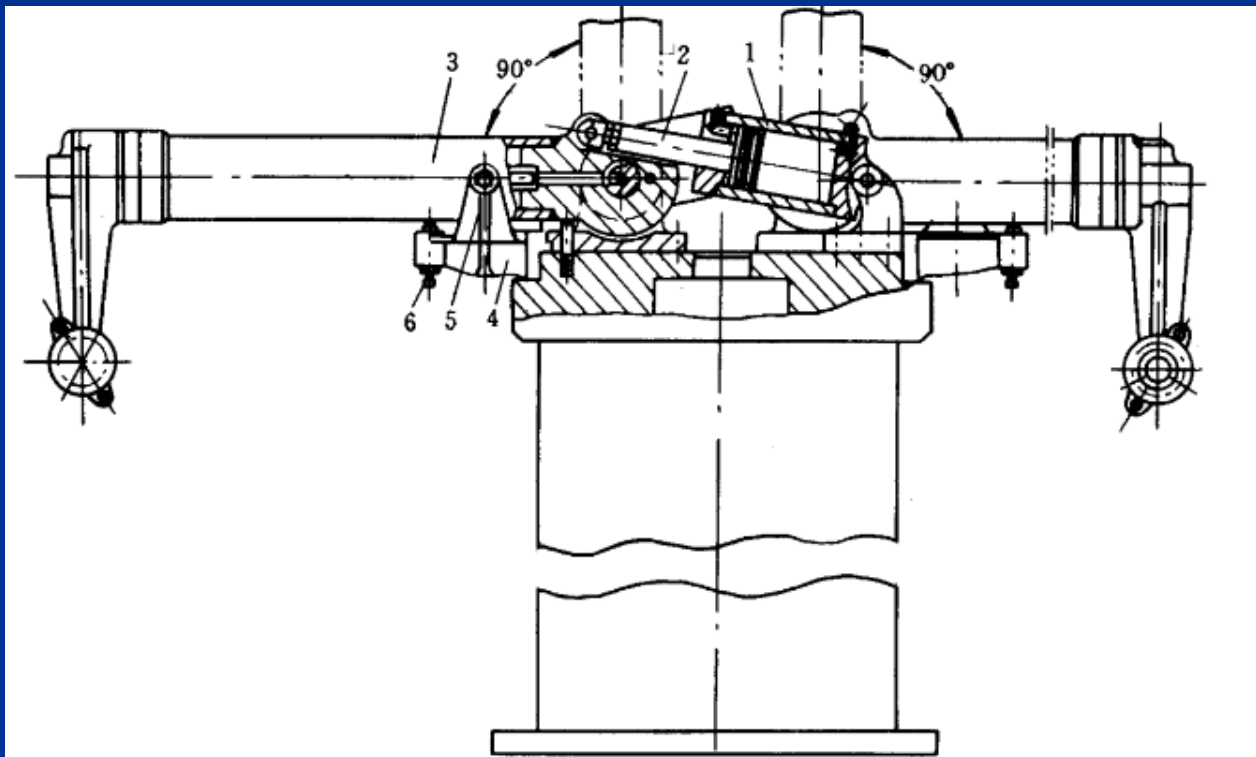


图 4-35 双臂机器人的手臂结构

1—铰接活塞油缸； 2—连杆(即活塞杆)； 3—手臂(即曲柄)； 4—支承架； 5、6—定位螺钉

第二章 工业机器人机械系统设计

2.1 工业机器人总体设计

2.2 驱动机构

2.3 机身和臂部设计

2.4 腕部设计

2.5 手部设计

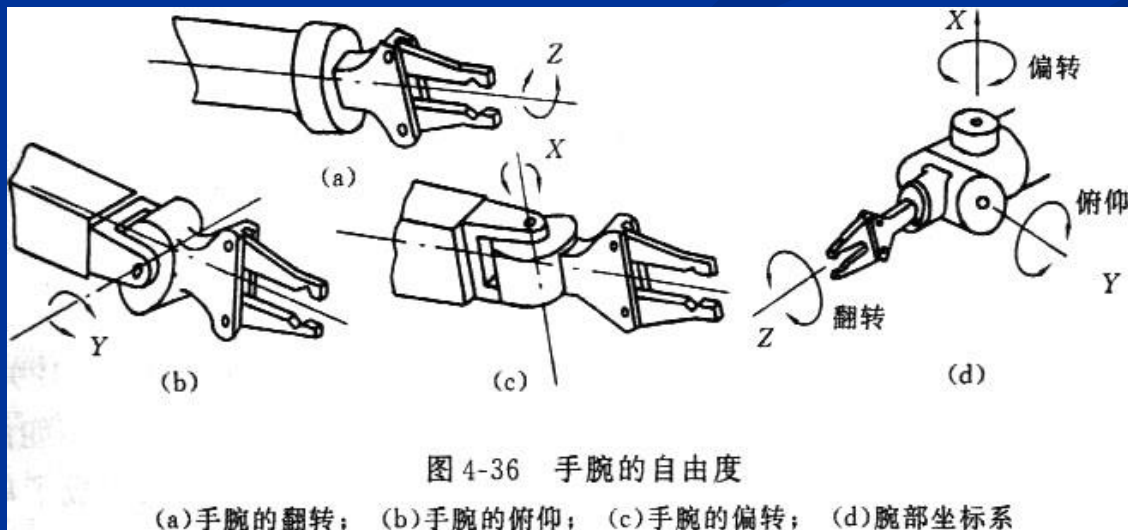
2.6 行走机构设计

2.4.1、腕部的作用、自由度与手腕的分类

一、腕部的作用与自由度

工业机器人的腕部是连接**手部**和**臂部**的部件，起支承手部的作用，手腕上的自由度主要是使手部（末端操作器）达到目标位置和处于期望的姿态。

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，即具有翻转、俯仰、偏转三个自由度，如下图所示。一般将手腕的**翻转**称为**Roll**，用**R**表示；将手腕的**俯仰**称为**Pitch**，用**P**表示；将手腕的**偏转**称为**Yaw**，用**Y**表示，图（d）所示的手腕即可实现**RPY**运动。

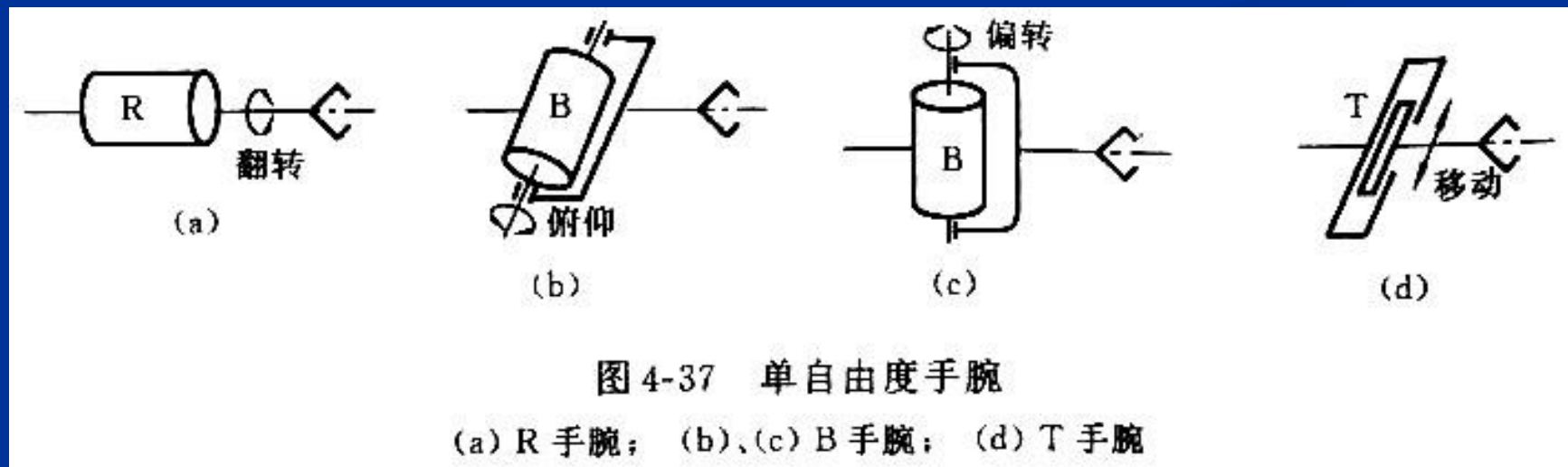


2.4.1、腕部的作用、自由度与手腕的分类

二、手腕的分类

1. 按自由度数目来分类：可分为单自由度手腕、两自由度手腕、三自由度手腕。

① 单自由度手腕：三种类型的关节：翻转 (Roll) 关节，也称**R**关节；折曲 (Bend) 关节，也称**B**关节；移动关节，也称**T**关节。

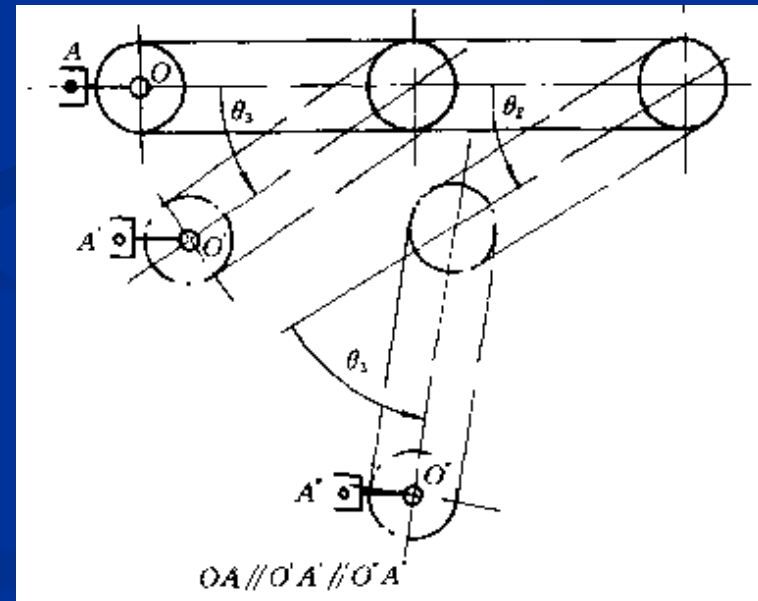
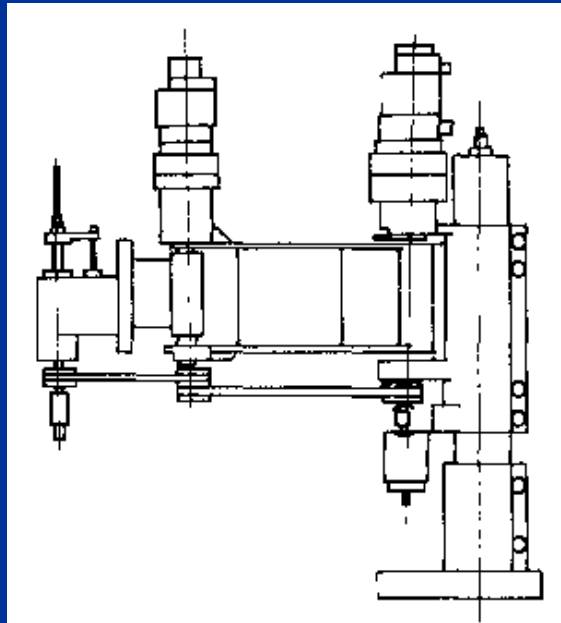


单自由度手腕举例

SCARA水平关节装配机器人的手腕只有绕垂直轴的一个旋转自由度，用于调整装配件的方位。

传动为两级等径轮齿形带，所以大、小臂的转动不影响末端执行器的水平方位，而该方位的调整完全取决于腕转动的驱动电机。

这种传动特点特别适合于电子线路板的插件作业。

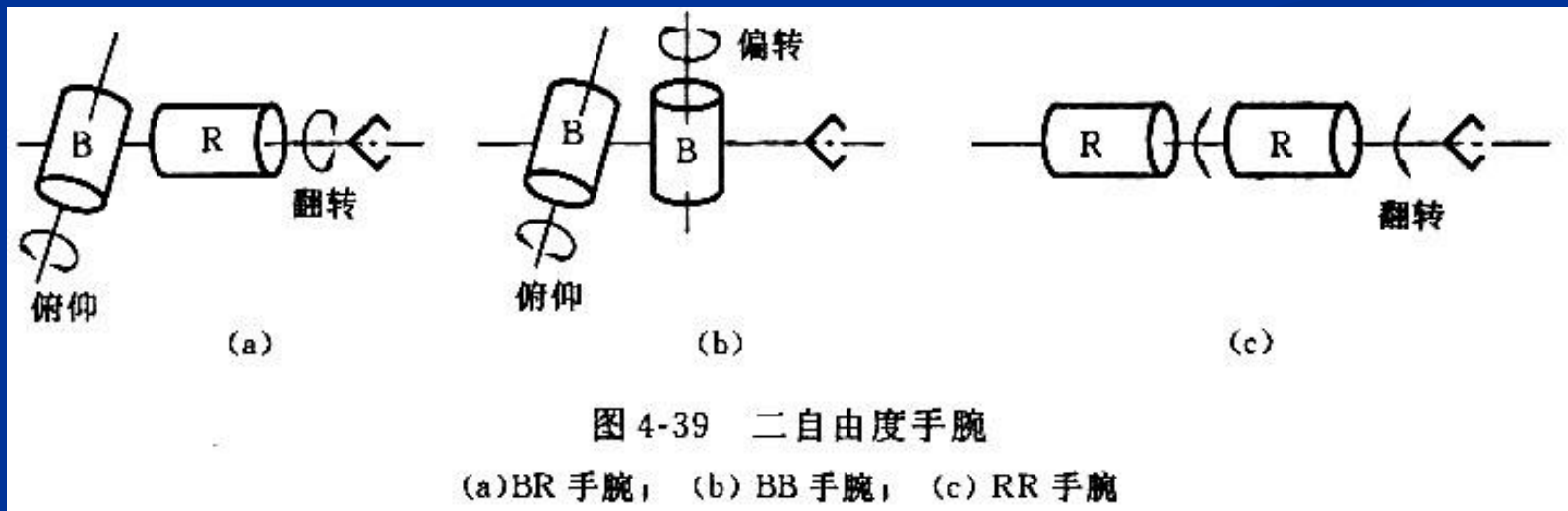


SCARA 机器人

2.4.1、腕部的作用、自由度与手腕的分类

② 两自由度手腕：

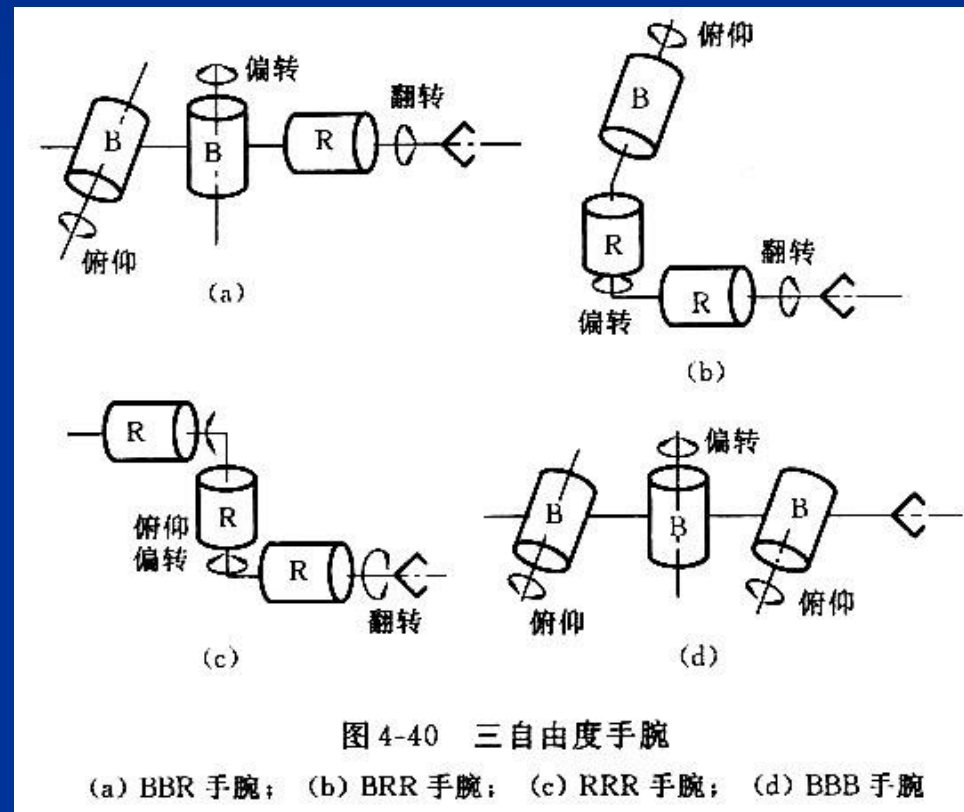
- ◆ 由一个R关节和一个B关节组成的BR手腕；
- ◆ 由两个B关节组成的BB手腕；
- ◆ 两个R关节不能组成RR手腕，这实际上是一个单自由度的手腕。



2.4.1、腕部的作用、自由度与手腕的分类

③ 三自由度手腕：

- ◆ BBR手腕，可以实现RPY运动；
- ◆ BRR手腕，R关节需要偏置；
- ◆ RRR手腕，可以实现RPY运动；
- ◆ BBB手腕关节退化，只能实现PY运动，这实际上是一个两自由度的手腕。



2.4.1、腕部的作用、自由度与手腕的分类

三自由度手腕举例：



应用的最多



仿人手腕



PUMA 262型机器人的手腕采用了RRR结构形式，
MOTOMAN SV3型机器人的手腕采用了RBR结构形式。

2.4.1、腕部的作用、自由度与手腕的分类

2. 按驱动方式分类：可分为直接驱动手腕、远距离传动手腕。

直接驱动手腕：驱动源被装在水腕上，因此设计必须非常紧凑巧妙，难点是能否选到尺寸小、重量轻而驱动力矩大、驱动特性好的驱动电机或液压驱动马达。

远距离传动手腕：好处是可以把尺寸、重量较大的驱动源装在远离手腕处，有时放在手臂的后端作平衡重量用，不仅减轻手腕的整体质量，而且改善了机器人整体结构的平衡性。

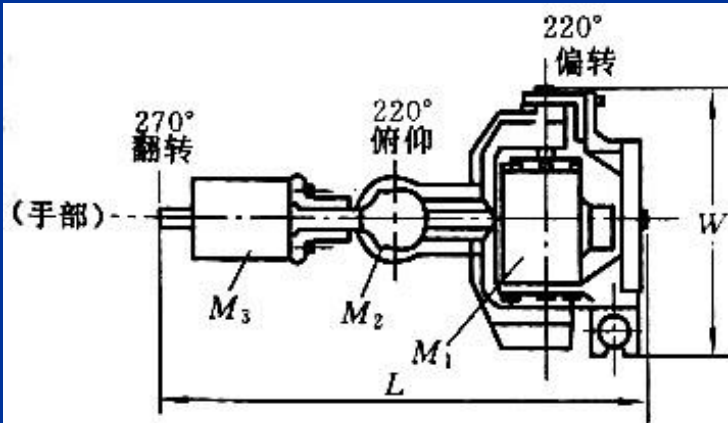


图 4-41 液压直接驱动 BBR 手腕

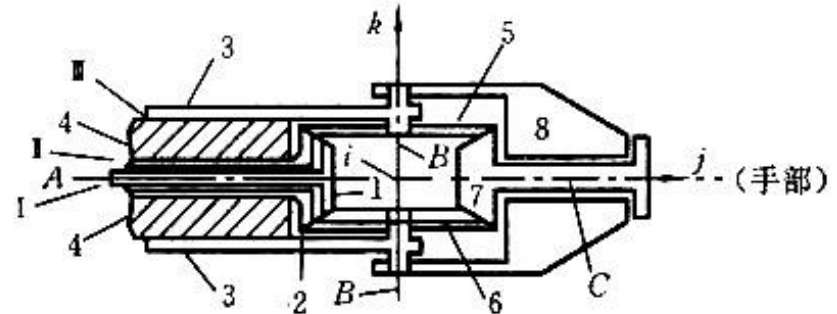


图 4-42 远距离传动 RBR 手腕

2.4.2、手腕关节的典型结构

一、RBR手腕的典型结构

1、电动机内藏于小臂内

2. 电动机置于小臂末端

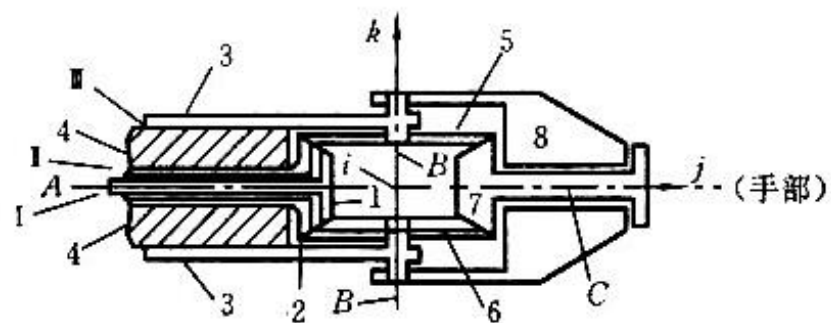
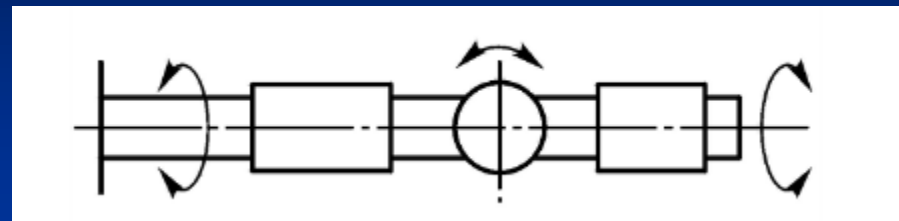
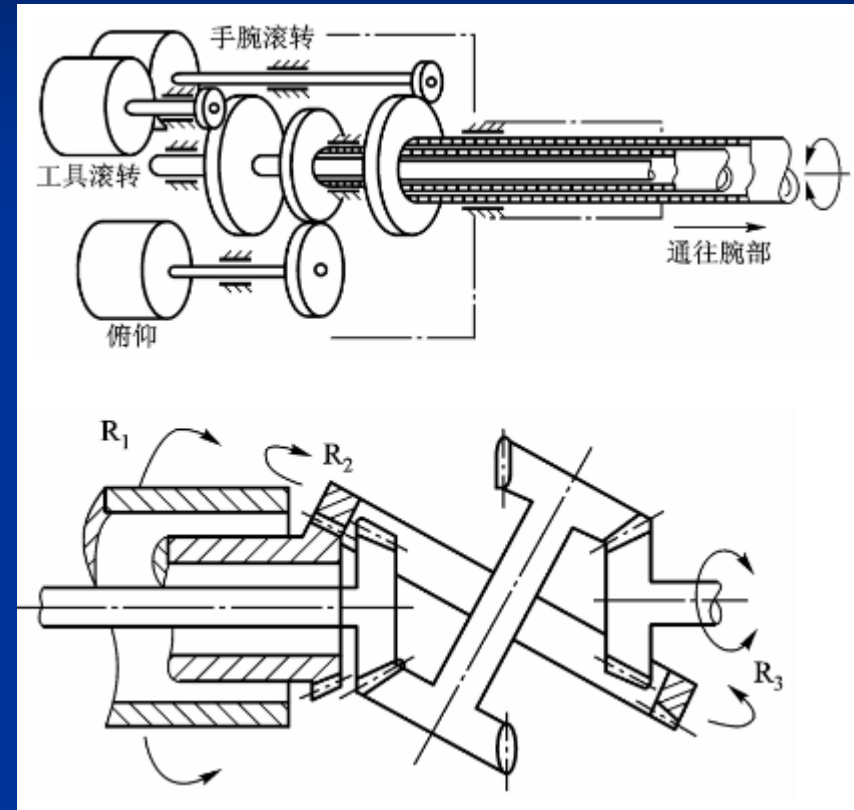


图 4-12 远距离传动 RBR 手腕

2.4.2、手腕关节的典型结构

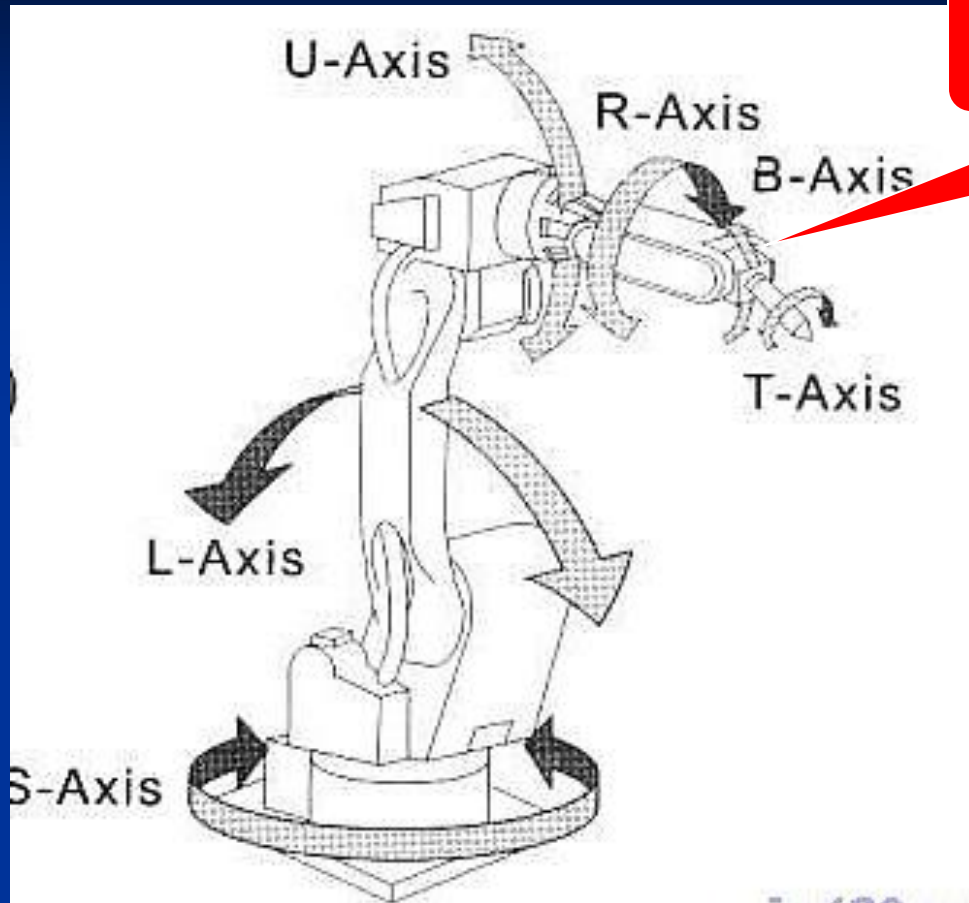
二、RRR手腕的典型结构

- RRR型手腕容易实现**远距传动**；
- 为了实现运动的传递，RRR型手腕的中间关节是**斜置的**，三根转动轴内外套在同一转动轴线上，最外面的转动轴套直接驱动整个手腕转动，中间的轴套驱动斜置的中间关节运动，中心轴驱动第三个旋转关节
- RRR型手腕，制造简单，润滑条件好，机械效率高，应用较为普遍



2.4.3、MOTOMAN SV3 机器人的手腕结构

R轴、B轴和T轴组成腕关节

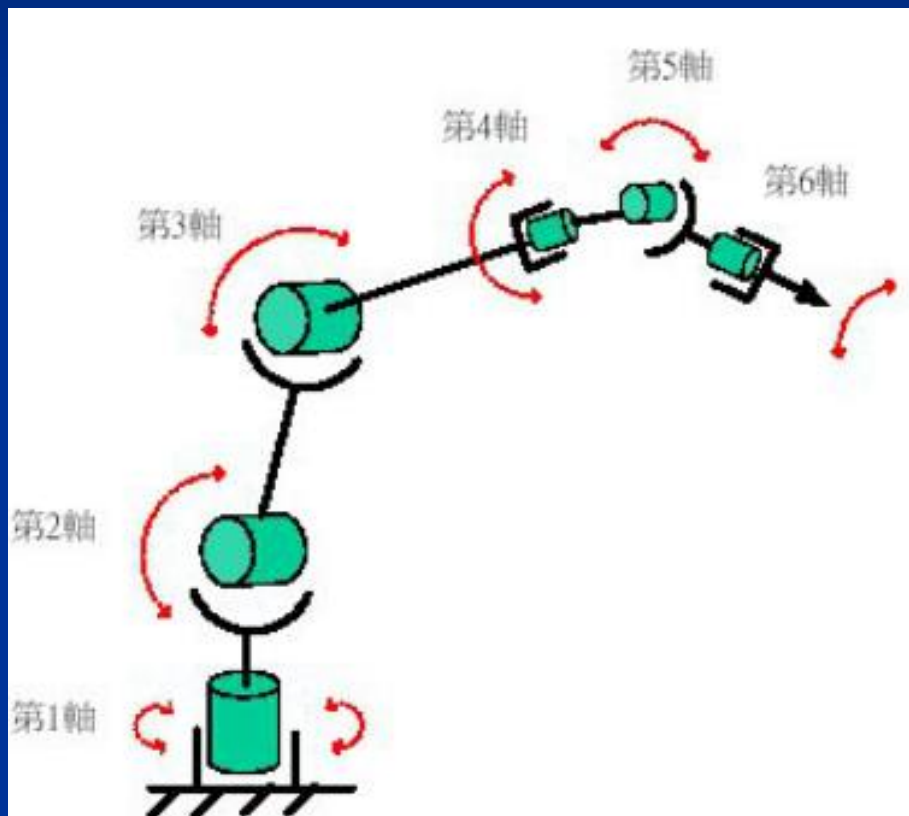


□ R轴：小臂中心线为轴线，由交流伺服电机—齿形带—RV减速器—小臂绕R轴旋转，其中为了减小转动惯量，电机安装在肘关节处，即和L轴电机交错安装

□ B轴：B轴的轴线和R轴轴线垂直，由交流伺服电机—齿形带—谐波齿轮减速器驱动腕关节做俯仰运动，电机安装在小臂内部末端

□ T轴：轴线与B轴垂直，由交流伺服电机—谐波齿轮减速器—法兰盘（末端操作器机械接口单元）绕T轴转动。驱动电机直接安装在腕部。末端操作器通过法兰盘，安装在机械手末端

2.4.4、六自由度关节型 机器人的关节布置特点与结构特点



- ◆ 关节所起作用
- ◆ 关节旋转形式
- ◆ 关节布置特点
- ◆ 电动机布置位置

第二章 工业机器人机械系统设计

2.1 工业机器人总体设计

2.2 驱动机构

2.3 机身和臂部设计

2.4 腕部设计

2.5 手部设计

2.6 行走机构设计

灵巧机械手及其操作姿态

四指灵巧机械手



名称：HIT/DLR 手
 年份：2004年
 自由度：13个
 特点：有4个相同结构的模块化手指、13个自由度，具有位置、力/力矩以及温度等多种传感器。



五指灵巧机械手

名称：i-Limb 手
 年份：2007年
 自由度：24个
 特点：可以完成日常生活的各种操作。能够与上臂残留的肌肉和神经连接，直接感应脑部发出的信号。



三指灵巧机械手

名称：stanford / JPL 手
 年份：1982年
 自由度：9个
 特点：首次完整引入位置、触觉、力控技术。



提



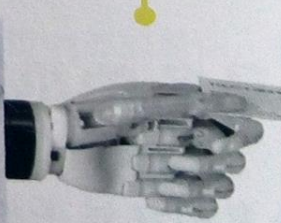
笔握



两指捏拿



三指捏拿



夹取



抓握

2.5 手部设计

2.5.1、手部的特点

工业机器人的手部也称末端操作器，是装在工业机器人手腕上直接抓握工件或执行作业的部件。工业机器人手部的特点有：

- ◆ 手部与手腕相连处可拆卸。手部与手腕有机械接口，也可能有电、气、液接头，当作业对象不同时，可以方便地拆除和更换手部；
- ◆ 手部是工业机器人末端操作器。它可以是像人手那样具有手指，也可以不具备手指，直接就是进行专业作业的工具。
- ◆ 手部的通用性比较差。手部属于专用的装置，一只手爪往往只能抓握一种或几种在形状、尺寸、重量等方面近似的工件；一种工具只能执行一种作业任务；
- ◆ 手部是一个独立的部件。

2.5.2、手部的分类

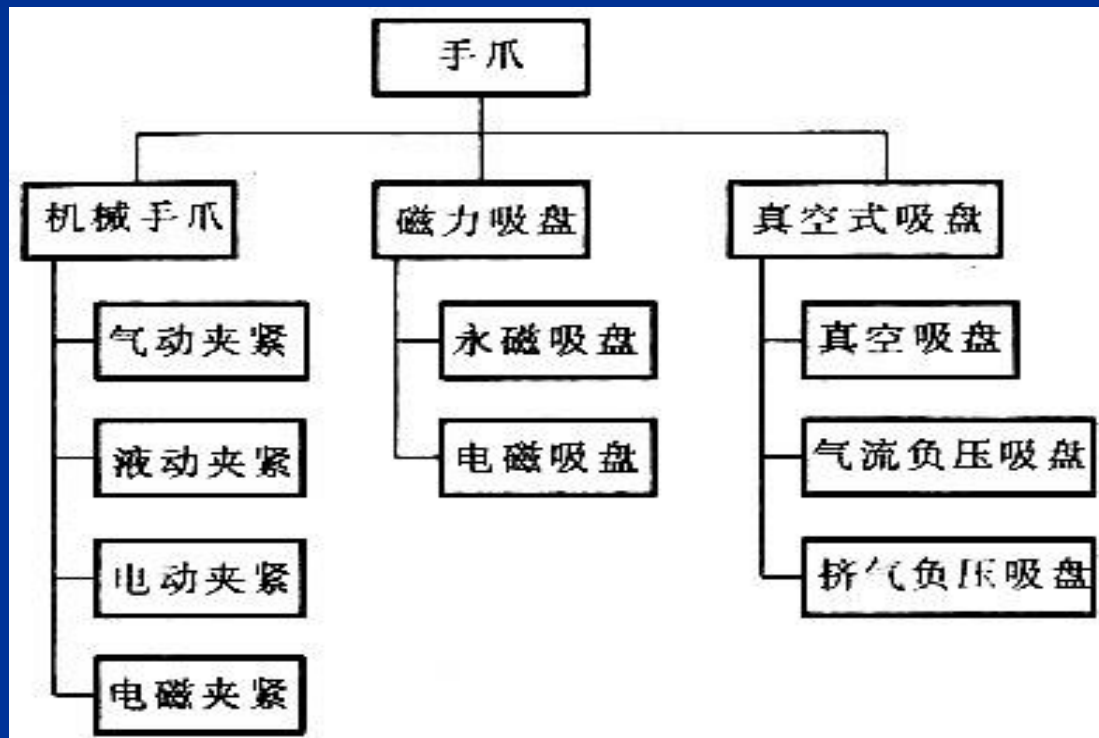
1. 按用途分类：可分为手爪、工具。

①手爪：具有一定的通用性，它的主要功能是：抓住工件，握持工件，释放工件。

②工具：是进行某种作业的专用工具，如喷漆枪、焊枪等。

2.5.2、手部的分类

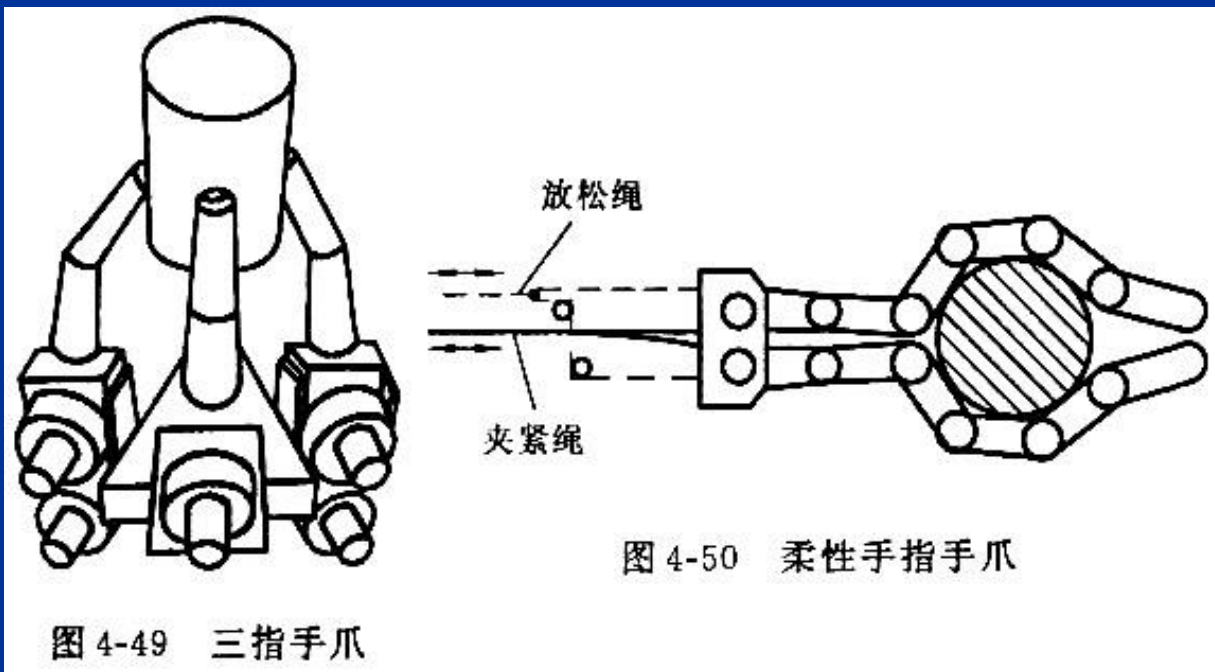
2. 按夹持原理分类：可分为机械钳爪式、吸附式。其中吸附式手部还可分为磁力吸附式和真空吸附式



3. 按手指或吸盘数目分类:

- (1) 按手指数目可分为两指手爪、多指手爪;
- (2) 按手指关节可分为单关节手指手爪及多关节手指手爪;
- (3) 吸盘式手爪按吸盘数目可分为单吸盘式手爪或多吸盘式手爪

4. 按智能化分类: 可分为普通手爪、智能手爪 (具有传感器)。



2.5 手部设计

手爪设计和选用的要求：手部设计或选用最主要的要求是满足功能，需要考虑以下方面的因素：

1. 被抓握的对象物：要了解工件的几何形状、机械特性
 - ① 几何参数：工件尺寸、可能给予抓握表面的数目、可能给予抓握表面的位置和方向、夹持表面之间的距离、夹持表面的几何形状。
 - ② 机械特性：质量、材料、固有稳定性、表面质量和品质、表面状态、工件温度。
2. 物料馈送器或储存装置：
3. 机器人作业顺序：
4. 手爪和机器人匹配：机械接口匹配，方便更换手爪；
5. 环境条件：考虑在高温、油、水等环境下的工作。

1. 机械钳爪式手部：驱动、传动、爪钳

① **驱动**：机械式手爪常采用气动、液动、电动、电磁来驱动手指的开合。

气动手爪：结构简单、成本低、容易维修、而且开合迅速，重量轻。缺点是空气介质的可压缩性，使爪钳的位置控制比较复杂（夹紧力控制）。

液动手爪：成本稍高一些。

电动手爪：控制容易一些，夹紧力比气动、液动的小，开合时间也长。

电磁手爪：控制信号简单，夹紧力与爪钳的行程有关，只适用于开合距离小的场合。

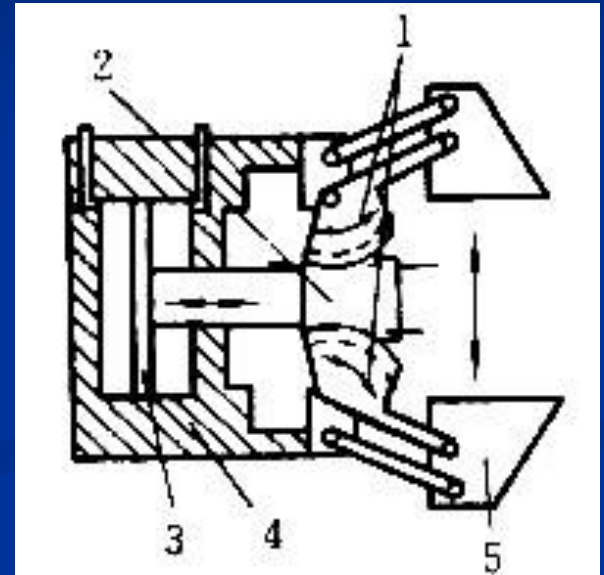
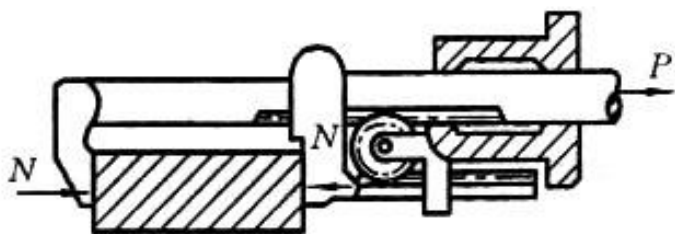


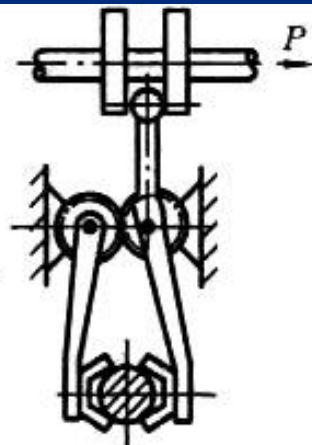
图 4-51 气动手爪

- 1—扇形齿轮； 2—齿条；
- 3—活塞； 4—气缸；
- 5—爪钳

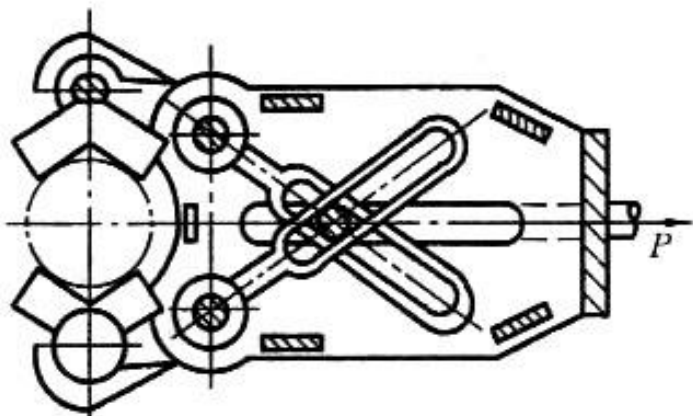
② **传动**：驱动源的驱动力通过传动结构驱使爪钳开合并产生夹紧力。



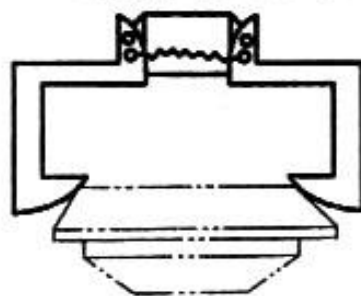
齿轮齿条式手爪



拨杆杠杆式手爪



滑槽式手爪



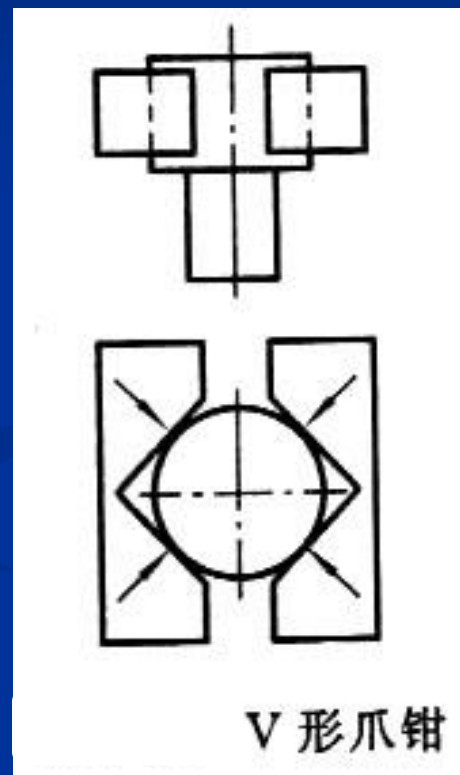
重力式手爪



重力式钳爪

③ **爪钳**：是和工件直接接触的部分，它们的形状和材料对夹紧力有很大的影响。

V形爪钳有4个接触点和工件相接触，形成力封闭形式的夹持状态，比平面爪钳夹持要安全可靠得多。



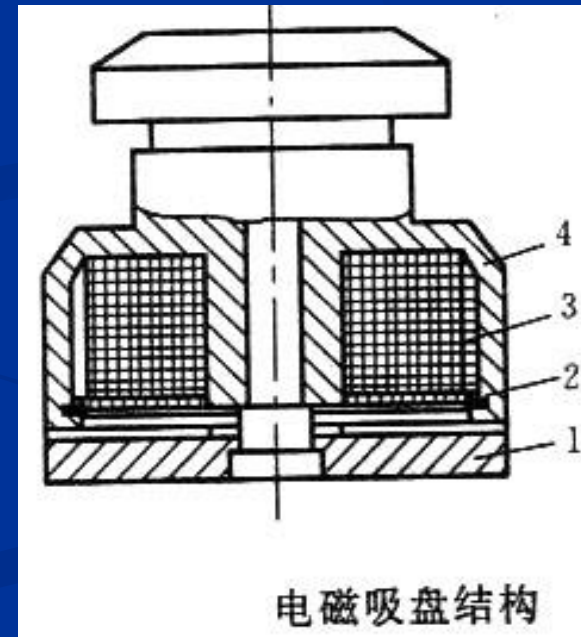
2. 吸附式手部

(1) 磁力吸附式：电磁吸盘、永磁吸盘

- ① **电磁吸盘**：在手部装上电磁铁，通过磁场吸力把工件吸住。通电就产生磁性吸力，断电则磁性吸力消失将工件松开。
- ② **永磁吸盘**：采用永久磁铁作为吸盘，必须是强迫性取下工件。

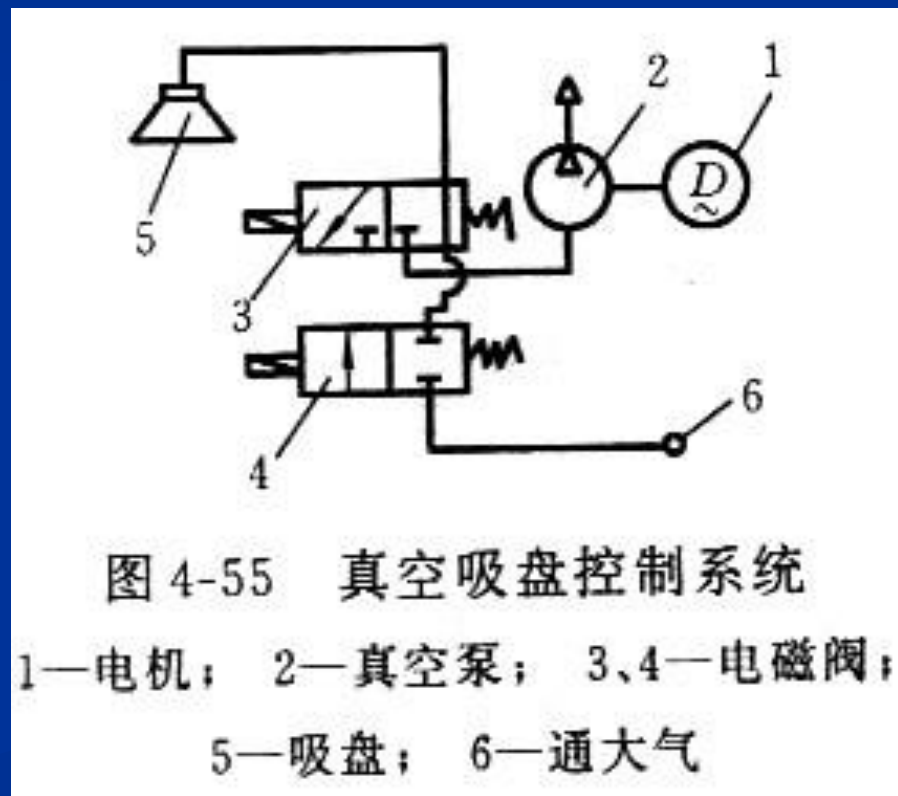
应用限制：

1. 电磁吸盘只能吸住铁磁材料工件，吸不住有色金属和非金属材料工件。
2. 被吸取工件有剩磁，吸盘上常会吸附一些铁屑，有时不能可靠地吸住工件，只适用于工件要求不高或有剩磁也无妨的场合。
3. 不适合高温条件下适用（高温失磁）。
4. 要求工件表面清洁、平整、干燥。



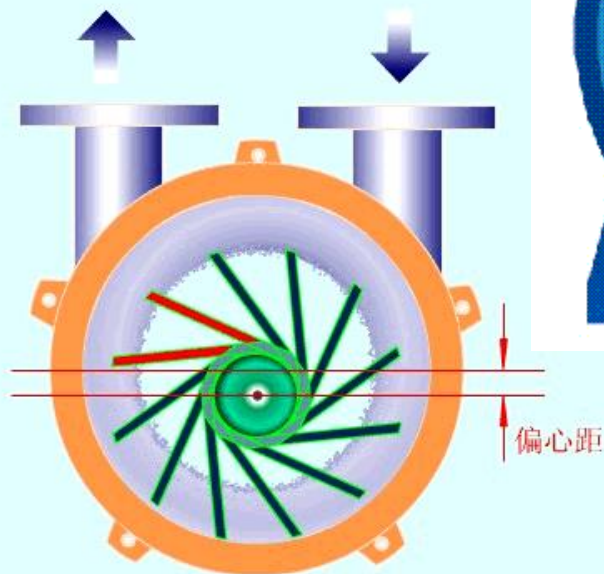
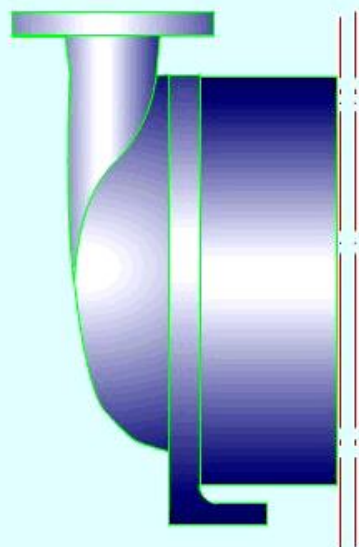
(2) **真空吸附式**：主要用在搬运体积大重量轻的如冰箱壳体、汽车壳体等工件；也广泛应用于需要小心搬运的如显像管、平板玻璃等对象，要求工件表面平整光滑、干燥清洁、能气密。根据真空产生的原理，真空吸盘可分为：**真空吸盘、气流负压吸盘、挤气负压吸盘**。

① **真空吸盘**：吸盘的吸力理论上取决于吸盘与工件表面的接触面积和吸盘内外压差，实际上与工件表面状态有十分密切的关系，它影响负压的泄漏。真空泵的采用，可以保证吸盘内持续产生负压，这种吸盘比其它形式吸盘吸力大。

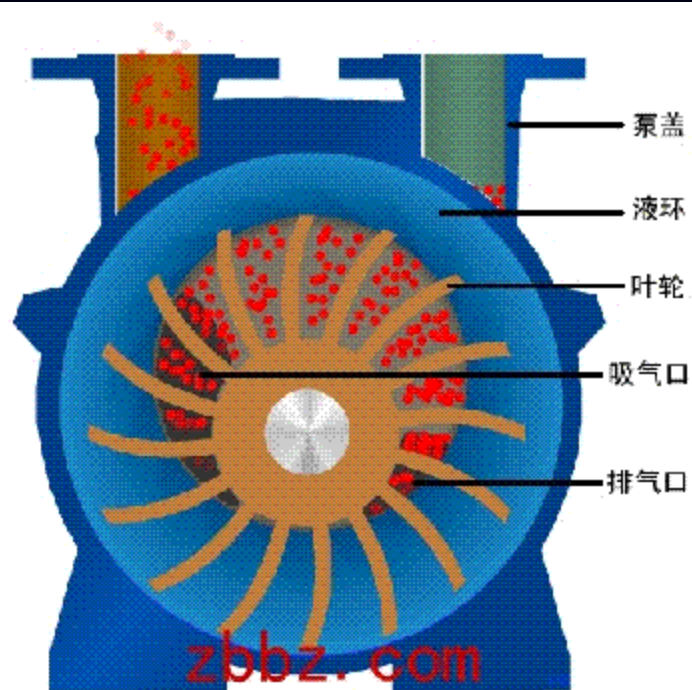


水环式真空泵的工作原理

水环式真空泵



叶轮与泵壳成偏心，泵壳内充一定量的水，叶轮旋转使水形成水环。相邻叶片（如图中红色叶片）旋转时，与水环形成的空间（气室）变大即进气，空间（气室）逐渐变小，即空气被压缩。多组相邻叶片，即多组往复压缩。



② **气流负压吸盘**：压缩空气进入喷嘴后，利用伯努利效应使图中橡皮碗内产生负压。一般在工厂内空压机气源比较容易解决，不需要专门为机器人配置真空泵，因此这种吸盘在工厂使用广泛。

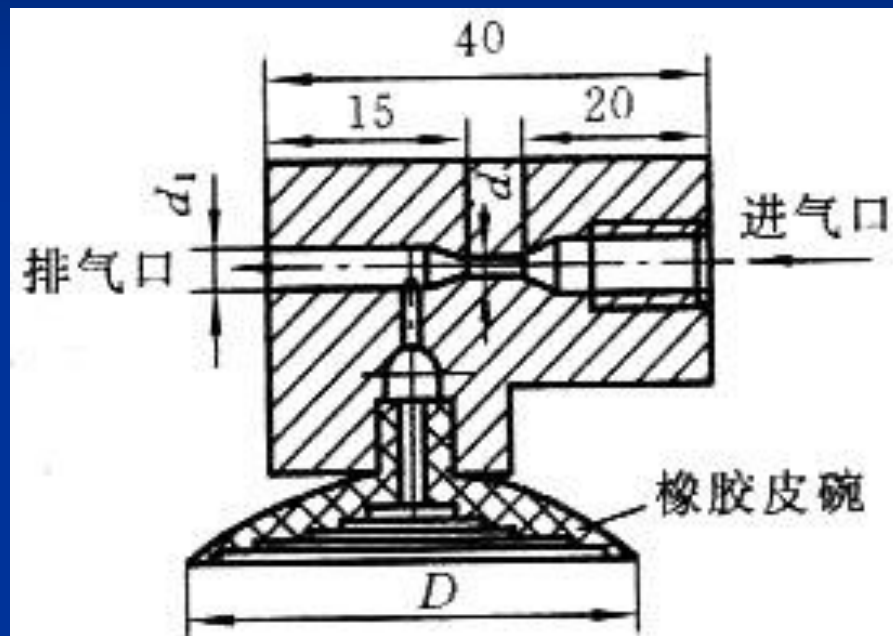


图 4-56 气流负压吸盘

③ **挤气负压吸盘**：这种吸盘不需要真空泵系统，也不需要压缩空气气源，比较经济方便，但是，可靠性比真空吸盘和气流负压吸盘要差一些。

实验表明：在工件表面清洁度、平滑度较好的情况下，这种吸盘牢固吸附时间可以持续30s，可以满足一般工业机器人工作要求。

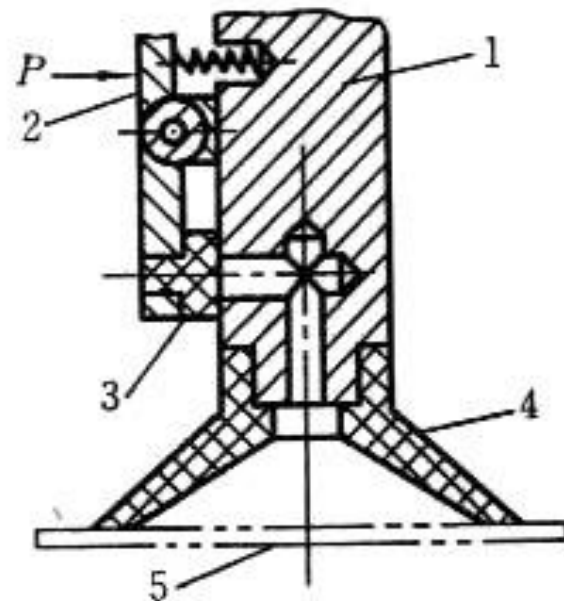
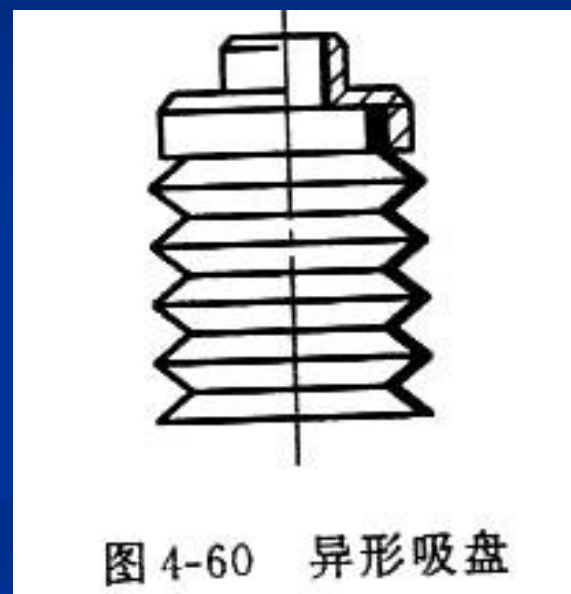
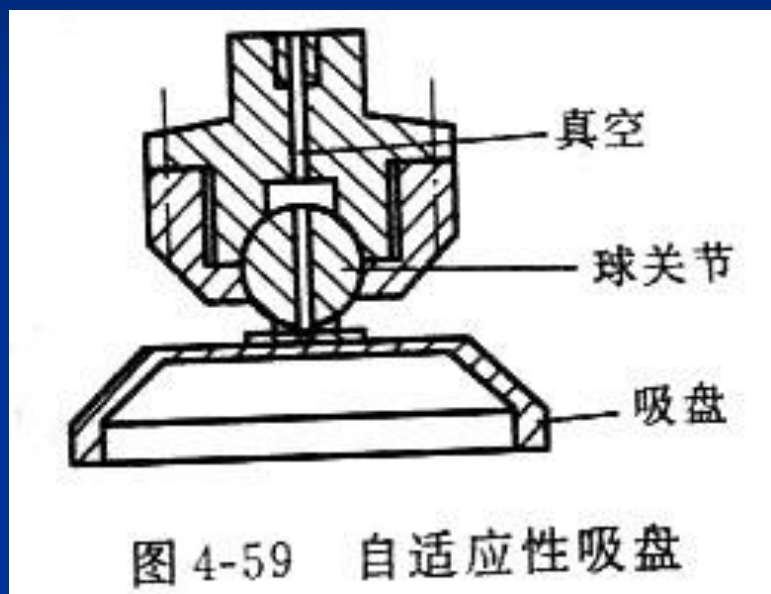


图 4-57 挤气负压吸盘

1—吸盘架； 2—压盖； 3—密封垫；
4—吸盘； 5—工件

4. 真空吸盘创新设计：自适应性真空吸盘、异形吸盘。



第二章 工业机器人机械系统设计

2.1 工业机器人总体设计

2.2 驱动机构

2.3 机身和臂部设计

2.4 腕部设计

2.5 手部设计

2.6 行走机构设计

2.6 行走机构设计

机器人可分为**固定机器人**和**行走机器人**，一般的工业机器人都是固定式的，随着科学技术的发展，行走机器人的应用也越来越多。

行走机构是行走机器人的重要执行部件，它由**行走的驱动装置、传动机构、位置检测元件、传感器、电缆以及管路**组成。一方面它支承机器人的机身、臂部、腕部。手部、工件，另一方面还根据工作任务的要求，带动机器人实现在广阔的空间内运动。

行走机构按其行走运动轨迹可分为**固定轨迹式**和**无固定轨迹式**。固定轨迹式行走机构主要用于工业机器人，无固定轨迹式主要有**轮式、履带式、步行式**。

2.6.1、车轮式行走机构

轮式移动系统机构简单，质量轻，功耗小，控制方便，运动灵活。缺点是其越野能力较差，但可以通过选择合适的悬架系统来提高其地形适应能力。

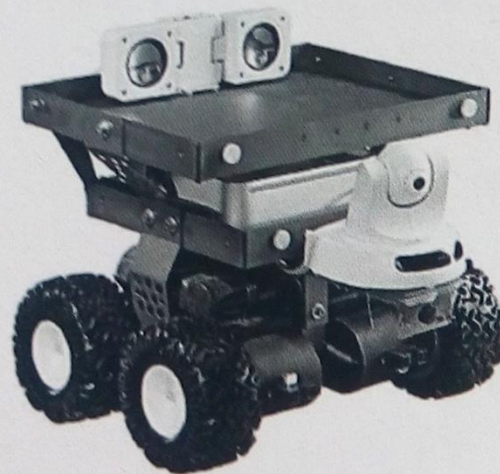
悬架系统分为**被动适应型（自适应）**、**主动适应型**和**混合适应型**三类。

轮式移动机构依据车轮的数目分为1轮、2轮、**3轮**、**4轮**、5轮、6轮以及多轮机构，尤其三轮、四轮、六轮最常见。





c) 三轮行走iRobot清扫机器人

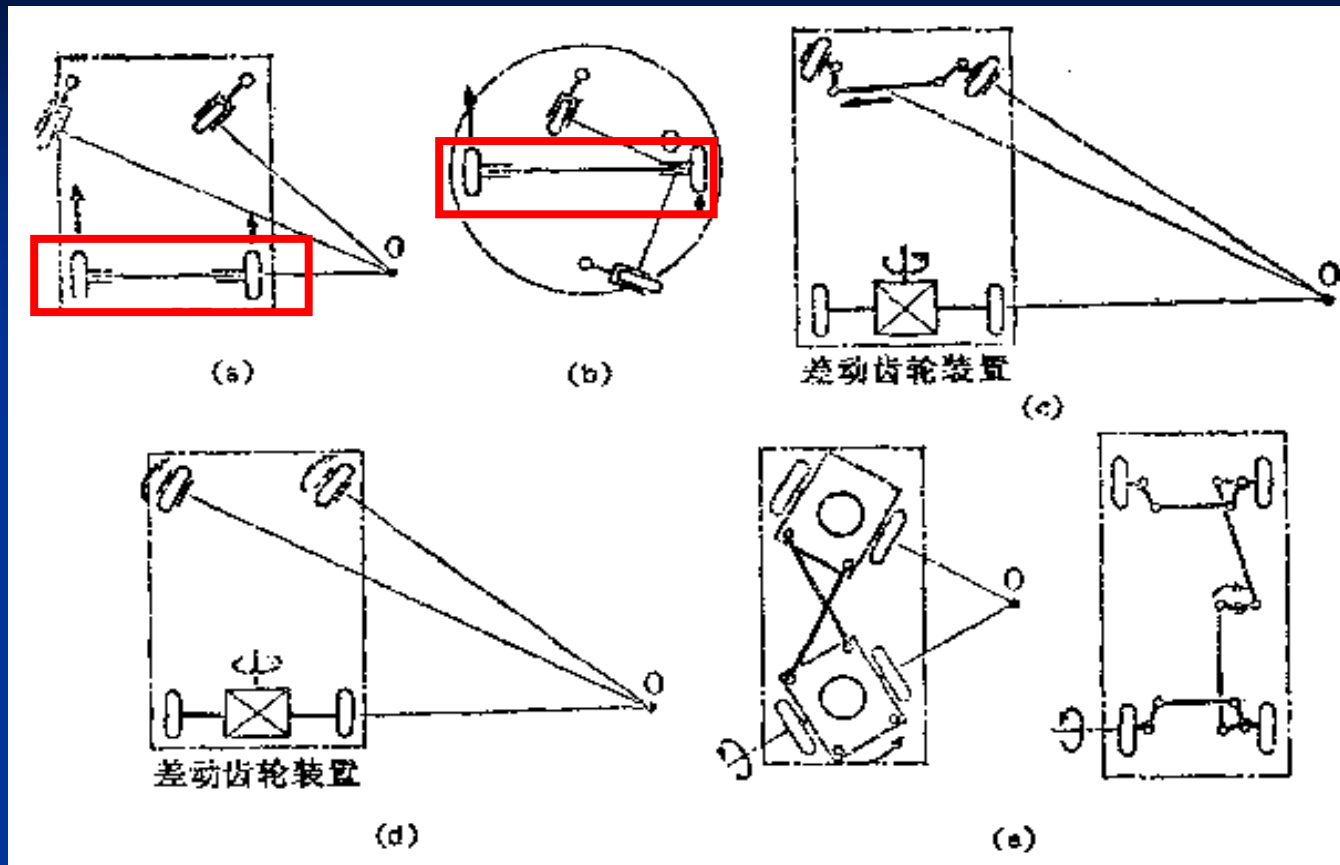


d) Cyclops四轮移动机器人



六轮火星探测机器人，每个轮子由具有自适应的悬架支撑，以适应复杂地貌。

➤ 四轮行走机构转向方式:



(a)、(b) 两个驱动轮，两个自位轮；(c) 移动机构，为转向采用四连杆机构；(d) 可独立转向机构 (e) 全部轮子均可转向的机构

2.6.2、履带式行走机构

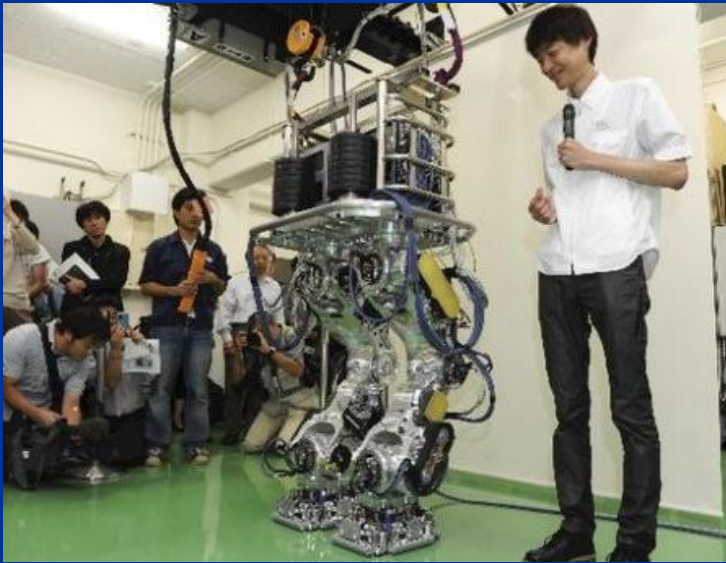
履带式移动机构是轮式移动机构的拓展，履带本身起着给车轮连续铺路的作用，着地面积较大，压强较小，与路面的粘着力较强，能不平缓和松软的路面上稳定移动，具有很强的越野能力，控制也简单。但功耗较大，运动灵活性差。



2.6.3、步行机构

类似于动物那样，利用脚步关节机构、用步行方式实现移动的机构，称为步行机构。特点是落足点为几个离散的位置点，能够自主选择有利的落足点，具有出色的地形适应能力；此外，能够自主隔振，保证系统沿平滑预定的轨迹运行

其机械结构和控制系统复杂，系统可靠性低；在松软沙地行走时，抗沉陷性较差，效率较低，功耗也大。



日本双足机器人载重100kg



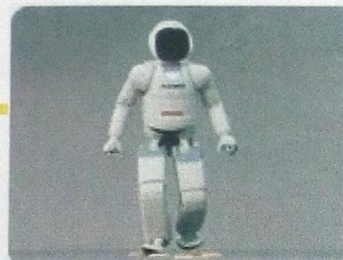
美国big dog



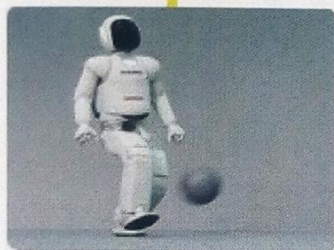
a) 自在步行



b) 以时速9km奔跑



c) 在崎岖路面上行走



d) 踢足球



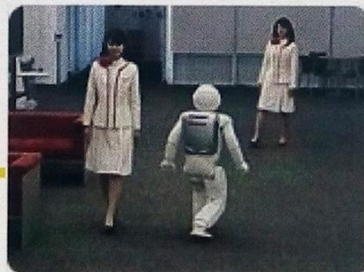
e) 机器人



f) 单脚跳跃行走



g) 上下台阶



h) 预测行人的行走方向

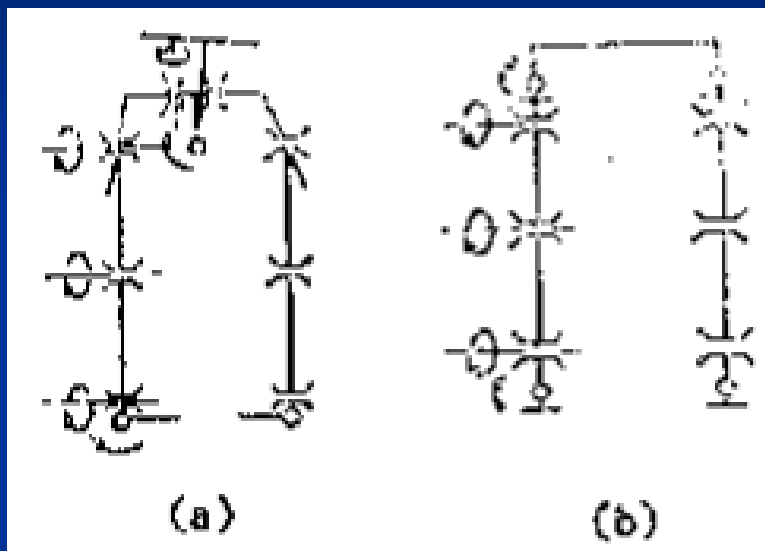


i) 双脚跳跃悬空

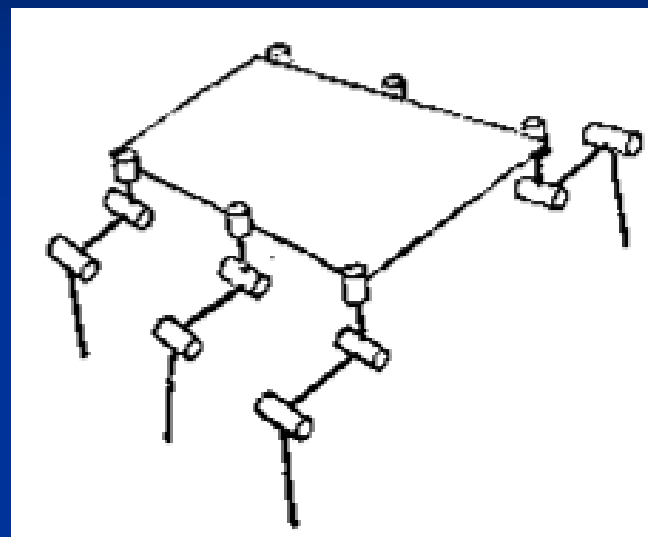
善跑能
跳的
足机
人器
人 ---
ASIMO

➤ 腿足结构形式

➤ 两足



➤ 多足



● 稳定性问题

● 步态问题——
步态规划

2.6.4、其他行走机构



为了达到特殊目的，各种各样的移动机器人结构被研制出来。

例如：轮腿式移动机构



作业

P59: 2—1、2、3、4