

机器人学 课程教案

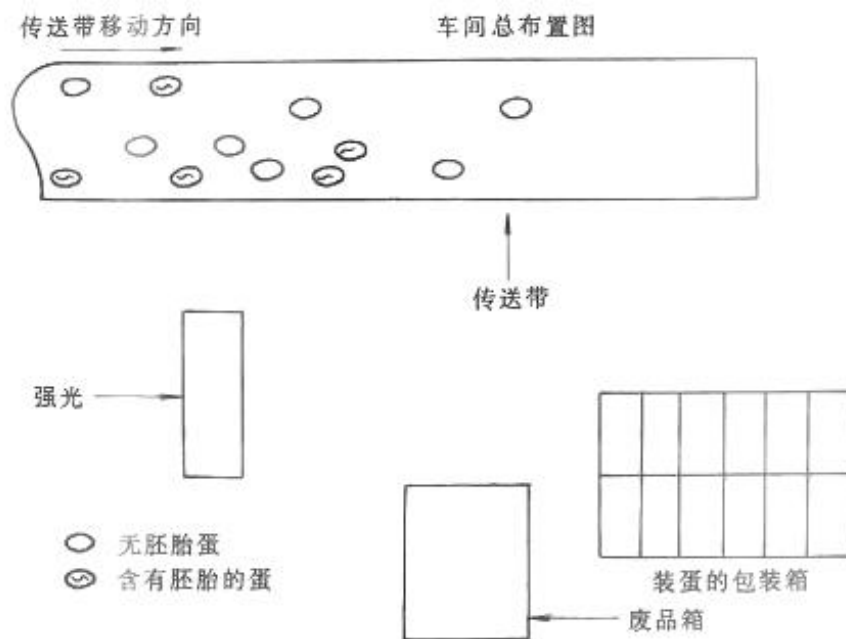
授课时间	第 3 周 第 3 节	课次	2
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2
授课题目(教学章、节或主题): 第 2 章 工业机器人机械系统设计 2.1 工业机器人总体设计 2.2 驱动机构			
主要教学方法 与手段	教学方法: 启发式教学、实例引导法教学 教学手段: 板书+多媒体		
本课次教学目的、要求(分掌握、熟悉、了解三个层次): 1、了解工业机器人总体设计过程; 2、掌握机器人中的直线及旋转驱动机构; 掌握机器人的三种主要的驱动方式; 了解机器人中主要使用的减速器			
教学重点及难点: 重点: 机器人总体设计过程; 机器人驱动机构及驱动方式 难点: 机器人中的驱动机构及驱动方式			
教学基本内容及过程			
2.1 工业机器人总体设计			
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。总体设计又分为系统分析和技术设计两大步骤			
2.1.1 系统分析			
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;			
2.1.2 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

举例说明机器人总体设计过程

以鸡蛋分捡包装系统为例，介绍机器人的系统分析方法



1、明确机器人的目的和任务

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

2、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

3、分析系统的工作要求

4、确定机器人的技术参数：自由度及运动范围

2.2 驱动机构

课程导入

1、驱动机构的作用

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；

2、驱动机构的分类

按实现的运动方式分为直线驱动机构和旋转驱动机构

2.2.1 三种驱动方式及其优缺点

(1) 液压驱动方式

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) 气压驱动方式

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站，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；

(3) 电气驱动方式

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；

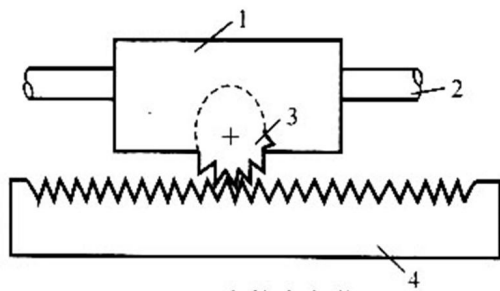
2. 直流伺服电机：易于控制，有较理想的机械特性，但其电刷易磨损，易形成火花；

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。

2.2.2 直线驱动机构

(1) 齿轮齿条装置——旋转运动转化为直线运动



齿轮齿条装置

1—拖板; 2 导向杆; 3—齿轮; 4 齿条

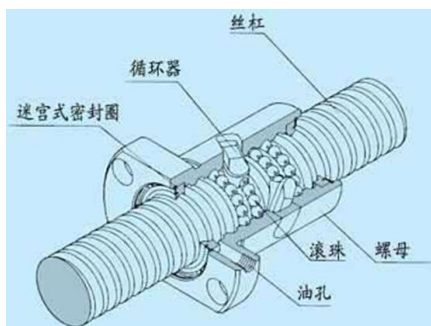
(2) 普通丝杠（丝杠螺母副）传动——回转运动变换为直线运动

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。但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。



(3) 滚珠丝杠

丝杠螺母副的改进，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。但丝杠、螺母的材料、热处理和加工工艺要求很高，故成本较高。



(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。

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。但齿轮间隙误差导致机器人手臂的定位误差增加

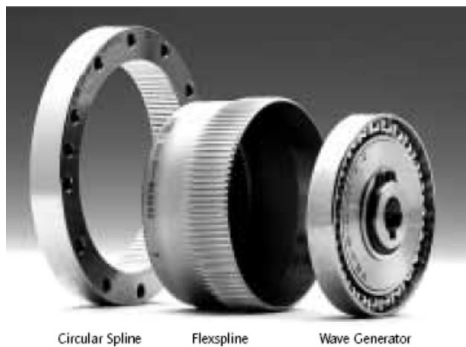
(2) 同步带传动

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。但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，

(1) 谐波齿轮减速器



由谐波发生器、柔性齿轮和刚性齿轮组成。

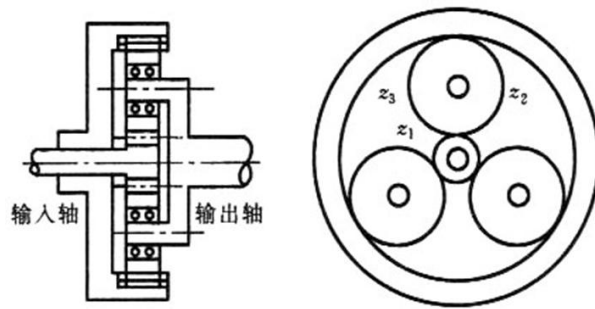
优点是结构简单，尺寸小、惯量低；传动比范围大；运动精度高，承载能力大；运动平稳，无冲击，噪声小；齿侧间隙可以调整。

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

(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。



行星齿轮传动结构简图

作业和思考题：

P59 2-1 2-2

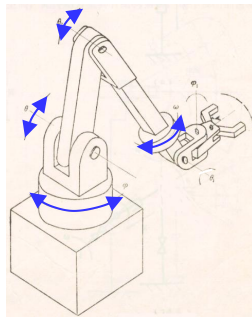
课后小结：

工业机器人总体设计的两大步骤；工业机器人常用的三种驱动方式的特点；常用的两种减速器的结构及特点。

机器人学 课程教案

授课时间	第 4 周 第 4 节	课次	2
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2
授课题目（教学章、节或主题）： 第 2 章 工业机器人机械系统设计 2.3 机身和臂部设计 2.4 腕部设计			
主要教学方法 与手段	教学方法：启发式教学、实例引导法教学 教学手段：板书+多媒体		
本课次教学目的、要求（分掌握、熟悉、了解三个层次）： 1、了解机身和臂部的典型结构；掌握设计机身时要注意的问题及臂部设计的基本要求 2、了解腕部的典型结构；掌握腕部的作用、自由度及腕部的分类			
教学重点及难点： 重点：设计机身时要注意的问题；臂部设计的基本要求；腕部的自由度及分类 难点：工业机器人中机身、臂部和腕部典型结构的分析			
教学基本内容及过程			
2.3 机身和臂部设计			
2.3.1 机身设计			
1、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：			
（1）要有足够的刚度和稳定性；			
（2）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；			
（3）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、机身的典型结构分析			

(1) 回转机身（关节型机身）



(2) 回转与升降机身（液压（气压）驱动或链条链轮传动）

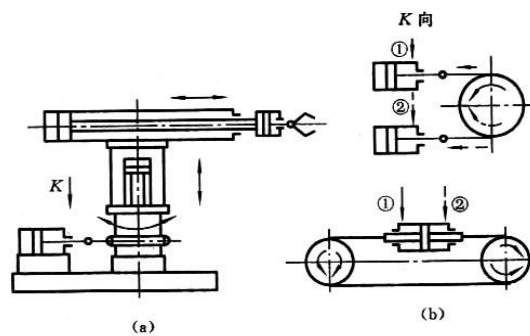


图 4-62 链条链轮传动实现机身回转的原理图

(3) 回转与俯仰机身（球极坐标型机身）

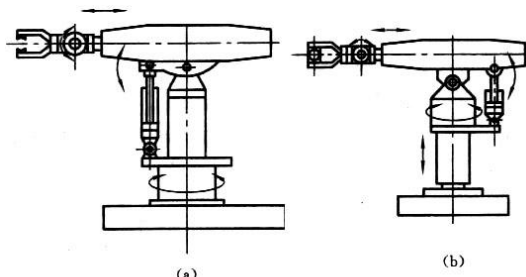


图 4-63 回转与俯仰机身示意图

2.3.2 臂部设计

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。

1. 臂部设计的基本要求

- (1) 刚度要求高；
- (2) 导向性要好；
- (3) 重量要轻；
- (4) 运动要平稳，定位精度要高

2. 关节型机器人臂部的典型结构

- (1) 手臂直线运动机构

(2) 手臂转动运动机构

2.4 腕部设计

2.4.1 腕部的作用、自由度与手腕的分类

1、手腕的作用

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。

2、手腕的自由度

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。

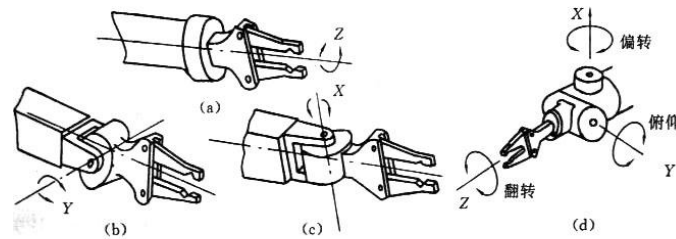


图 4-36 手腕的自由度

(a)手腕的翻转；(b)手腕的俯仰；(c)手腕的偏转；(d)腕部坐标系

3、手腕的分类

(1) 单自由度手腕

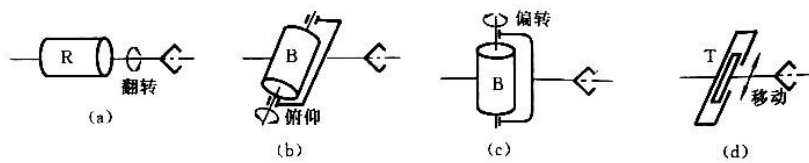


图 4-37 单自由度手腕

(a) R 手腕；(b)、(c) B 手腕；(d) T 手腕

(2) 二自由度手腕

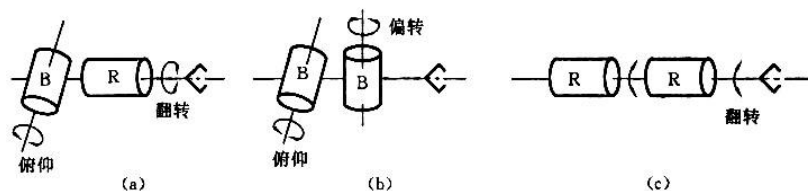


图 4-39 二自由度手腕

(a)BR 手腕；(b)BB 手腕；(c)RR 手腕

(3) 三自由度手腕

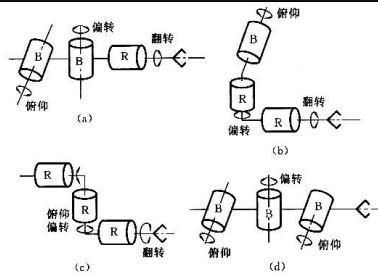


图 4-40 三自由度手腕
(a) BBR 手腕；(b) BRR 手腕；(c) RRR 手腕；(d) BBB 手腕

2.4.2 手腕关节的典型结构

2.4.3 MOTOMAN SV3 机器人的手腕结构

2.4.4 六自由度关节型机器人的关节布置与结构特点

作业和思考题：

P59 2-3 ; 2-4

课后小结：

机身的典型结构分析；设计机身时需要注意的问题；臂部设计的基本要求；关节型机器人臂部的典型结构分析

机器人学 课程教案

授课时间	第 5 周 第 5 节	课次	2
授课方式 (请打√)	理论课 <input checked="" type="checkbox"/> 讨论课 <input type="checkbox"/> 实验课 <input type="checkbox"/> 习题课 <input type="checkbox"/> 其他 <input type="checkbox"/>	课时 安排	2
授课题目（教学章、节或主题）： 第 2 章 工业机器人机械系统设计 2.5 手部设计 2.6 行走机构设计			
主要教学方法 与手段	教学方法：启发式教学、实例引导法教学 教学手段：板书+多媒体		
本课次教学目的、要求（分掌握、熟悉、了解三个层次）： 1、掌握手部的特点与分类；了解机械钳爪式手部结构的几种典型结构；了解吸附式手部的工作原理及结构。 2、了解行走机构的组成、分类及几种典型行走机构的特点			
教学重点及难点： 重点：手部的特点与分类，行走机构的分类 难点：机械钳爪式手部结构的几种典型结构；吸附式手部的工作原理及结构			
教学基本内容及过程			
2.5 手部设计			
2.5.1 手部的特点			
1、定义：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。			
2、手部的特点			
（1）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；			
（2）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。			
（3）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；			
（4）手部是一个独立的部件。			
2.5.2 手部的分类			

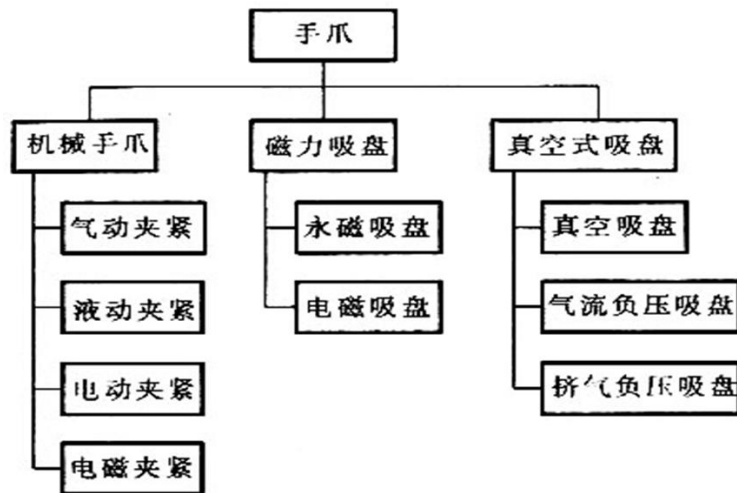
1、手部的分类

(1) 按用途分类：可分为手爪、工具。

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。

工具：是进行某种作业的专用工具，如喷漆枪、焊枪等。

(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；磁力吸附式又分为电磁吸盘、永磁吸盘。



(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、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；

(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。

2、手部的结构及工作原理

(1) 机械钳爪式手部结构

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。

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。

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。

(2) 吸附式手部结构

磁力吸附式：电磁吸盘、永磁吸盘。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。

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。

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。

1、车轮式行走机构的特点

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。

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，能在不平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。

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。

作业和思考题：

工业机器人的手部特点是什么？

真空吸附系统的设计内容包括哪几个方面？

课后小结：

手部的特点；手部的分类；典型手部结构分析；几种行走机构的特点及适用场合。