

# 机器人导论

## chapter 1

### 1. 人有哪些功能？智能机器人所谓智能的表现形式是什么？

智能机器人具备形形色色的内部信息传感器和外部信息传感器，如**视觉**、听觉、触觉、嗅觉。除具有感受器外，它还有效应器，作为作用于周围环境的手段。这就是肌肉，或称**自整步**电动机，它们使手、脚、长鼻子、触角等动起来。由此也可知，智能机器人至少要具备三个要素：感觉要素，反应要素和思考要素。

### 2. 工业机器人的定义是什么？工业机器人与数控机床有什么区别？

工业领域中的应用机器人称为工业机器人。

工业机器人与数控机床的区别在于：

- 机器人的运动为开式运动链而数控机床为闭式运动链
- 工业机器人一般具有多关节，数控机床一般无关节且均为直角坐标系统。
- 工业机器人是用于工业中各种作业的自动化机器，而数控机床用于冷加工。
- 机器人灵活性好，数控机床灵活性差。

### 3. 机器人由哪几部分组成？各部分的功能是什么？

机器人由三大部分六个子系统组成。三大部分是机械部分、传感部分和控制部分。六个子系统是驱动系统、机械结构系统、感受系统、机器人—环境交换系统、人机交换系统和控制系统。

驱动系统，要使机器人运作起来，各需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、气压传动、电动传动、或者把它们结合起来应用综合系统，可以是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传动。

机械结构传动，工业机器人的机械结构系统由机座、手臂、末端操作器三大部分组成，每一个大件都有若干个自由度的机械系统。若基座不具备行走机构，则构成行走机器人；若基座不具备行走及弯腰机构，则构成单机器人臂。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，它可以是二手指或多手指的手抓，也可以是喷漆枪、焊具等作业工具。

感受系统由内部传感器模块和外部传感器模块组成，用以获得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。

机器人—环境交换系统是現代工业机器人雨外部环境中的设备互换联系和协调的系统。工业机器人与外部设备集成为一个功能单元，如加工单元、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。

人工交换系统是操作人员与机器人控制并与机器人联系的装置，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。该系统归纳起来分为两大类：指令给定装置和信息显示装置。

控制系统的任务是根据机器人的作业指令程序以及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，控制系统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。根据控制运行的形式，控制系统可分为点位控制和轨迹控制。

### 4. 机器人按应用场合可分为几类？这些应用场合有什么特点？

机器人按照应用类型分类可分为工业机器人、极限作业机器人和服务型机器人三种。

工业机器人主要在工业领域内应用，在实现智能化、多功能化、柔性自动化生产、提高产品质量、代替人在恶劣环境条件下工作中发挥重大作用。

极限作业机器人主要是指在人们难以进入的核电站、海底、宇宙空间进行作业的机器人，也包括军用、建筑、农业机器人等。

服务机器人包括娱乐机器人、小提琴机器人、足球机器人、护士助手机器人、导盲机器人、高楼擦窗机器人和壁面清洗机器人等，也有根据环境而改变动作的机器人。

#### 5. 工业机器人的技术参数有哪些？各参数的意义是什么？

工业机器人的技术参数一般应有自由度、重复定位精度、工作范围、最大工作速度和承载能力等。

自由度是指机器人各关节在三维空间对于独立坐标轴运动的数目，一般情况下，通用工业机器人有3~6个自由度。

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，它是衡量一系列误差值的密集度(即重复度)

工作空间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，也叫工作区域。这主要取决于臂部的自由度和每个关节的运动范围。

速度和加速度是表明机器人运动特性的主要指标。运动速度影响机器人的工作效率，它与机器人所提取的重力和位置精度均有密切的关系。

承载能力是指机器人在工作范围内的任何位姿上能承受的最大质量。承载能力不仅取决于负载的质量，而且还与机器人运行的速度和加速度的大小和方向有关。

#### 6. 工业机器人按坐标形式分为哪几类？各有什么特点？

工业机器人的坐标形式有直角坐标型、圆柱坐标型、球坐标型、关节坐标型和平面关节型。

##### 1、直角坐标型

(1) 优点：这种操作器结构简单，运动直观性强，便于实现高精度。

(2) 缺点：是占据空间位置较大，相应的工作范围较小。

##### 2、圆柱坐标型

(1) 优点：同直角坐标型操作器相比，圆柱坐标型操作器除了保持运动直观性强的优点外，还具有占据空间较小、结构紧凑、工作范围大的特点。

(2) 缺点：受升降机构的限制，一般不能提升地面上或较低位置的工件。

##### 3、球坐标型

(1) 优点：同圆柱坐标型操作器相比，这种操作器在占据同样空间的情况下，其工作范围扩大了，由于其具有俯仰自由度，因此还能将臂伸向地面，完成从地面提取工件的任务。

(2) 缺点：运动直观性差，结构较为复杂，臂端的位置误差会随臂的伸长而放大。

##### 4、关节型

(1) 优点：关节型操作器具有人的手臂的某些特征，与其他类型的操作器相比，它占据空间最小，工作范围最大，此外还可以绕过障碍物提取和运送工件。因此，近年来受到普遍重视。

(2) 缺点：运动直观性更差，驱动控制比较复杂。

#### 7. 什么是SCARA机器人？应用上有何特点？

SCARA是一种圆柱坐标版型的特殊类型的工业机器人。也有人叫做水平关节型机器人。

SCARA机器人有3个旋转关节，其轴线相互平行，在平面内进行定位和定向。另一个关节是移动关节，用于完成末端件在垂直于平面的运动。手腕参考点的位置是由两旋转关节的角位移 $\varphi_1$ 和 $\varphi_2$ ，及移动关节的位移 $z$ 决定的，即 $p=f(\varphi_1, \varphi_2, z)$ ，如图所示。这类机器人的结构轻便、响应快，例如Adept1型SCARA机器人运动速度可达10m/s，比一般关节式机器人快数倍。它最适用于平面定位，垂直方向进行装配的作业。例如，快速将一件小物件从一条输送带移动到另一条输送带上并排列好

8. 什么是自由度？自由度如何计算？按照自由度的定义，请思考一下人的手臂有几个自由度？人手有几个自由度？

自由度是指机器人各关节在三维空间对于独立坐标轴运动的数目。各关节自由度的综合就是工业机器人的自由度数。人的手臂共有七个自由度(包括手臂、小臂、手腕)，人手一共24个自由度。拇指5个自由度，其余四指各有4个自由度（2个关节的屈曲41021个关节的屈曲及1653侧摆），手掌1个自由度（弧度），手腕2个自由度（外展和屈曲）。

## chapter 2

1. 工业机器人手部的特点是什么？大致分几类？

工业机器人的手部是用来握持工件或工具的部件，大部分的手部结构都是根据特定的工件要求而专门设计的。

工业机器人大致分为夹钳式取料手和吸附式取料手。

2. 试描述磁力吸盘的基本原理

磁力吸盘的基本原理：

当磁力吸盘处于负载状态时，磁力线从起点出发，穿过铁磁性工件并形成闭合回路。具体情况如下：

磁力线从磁体的N极出来，通过磁轭，经过铁磁性工件，再回到磁轭进入磁体的S极。这样，就能把工件牢牢地吸在**永磁吸盘**的工作极面上。

当磁力吸盘处于卸载状态时，磁力线从起点出发，并未穿过铁磁性工件即形成闭合回路。具体情况如下：

如磁力线不到永磁吸盘的工作极面，就在永磁吸盘内部组成磁路的闭合回路，几乎没有磁力线从永磁吸盘的工作极面上出来，因而也不会对工件产生吸力，即可顺利实现卸载。

然而，无论磁力吸盘处于哪种状态时，都是通过人工控制手柄的旋转来实现磁路的开合的。注意，磁力吸盘分为电磁吸盘、电永磁吸盘（电控永磁吸盘）和永磁吸盘三种，这是就广义而言，而本文所指为狭义上的磁力吸盘，即永磁起重器，

3. 真空吸盘有哪几种？试描述它们的基本原理

### (1) 类型

根据真空产生的原理真空式吸盘可分为：**真空吸盘**、**气流负压吸盘**和**挤气负压吸盘**等三种基本类型。

### (2) 基本原理

#### ①真空吸盘

当吸盘压到被吸物后，吸盘内的空气被真空泵从吸盘上的管路中抽走，使吸盘内形成真空。吸盘外的大气压力把吸盘压在被吸物上，使之几乎形成一个整体，可以共同运动。

#### ②气流负压吸盘

利用吸盘内形成负压将工件吸住的一种装置，主要由产生真空的装置气流喷射器和皮碗组成。空压机供给的经过净化处理的压缩空气，通过喷射器使其压力能转换为气流的速度能，根据伯努利方程可知，由于气流速度高，所以静压能很低，这样被吸附的物体与吸盘之间的空气不断被高速气流卷吸走，形成负压区即可吸住物件。

### ③挤气负压吸盘

通过将气体以挤压的形式排出，这样被吸附的物体与吸盘之间形成负压区，来吸住物件。

## 4. 什么叫R关节、B关节和Y关节？什么叫RPY运动？

R关节是一种回转关节；

B关节是一种弯曲关节；

Y关节是一种偏转关节；

具有俯仰、偏转和翻转运动，即为RPY运动。

## 5. 机器人的行走机构有哪些？各有什么特点？

答：1.固定轨迹式行走机构，用途：作业区域大的场合。

2.无固定轨迹式行走机构，分为轮式行走机构，优点：很高的效率，以较简单的机械就能实现；履带式行走机构，优点：1.能登上较高的台阶；2.由于履带的突起，路面保持力强，因此适合在荒地上移动；3.能实现原地旋转；4.重心低，稳定性好。缺点：适应性不强；行走时晃动太大，在软地面上行驶运动效率低。

3.足式行走机构，优点：可以在可能达到的地面上选择最优的支撑点；主动隔振能力，在不平的地面和松软地面上的运动速度较高、能耗较少。

4.轮足混合式行走机构，优点：在粗糙的地形中可提供最好的机动性。缺点：平地上效率差，并且需要复杂的控制。用途：野外和空间机器人。

## 6. 机器人的驱动方式有哪些？各有什么特点？

目前使用的主要有四种驱动方式：液压驱动、气压驱动、直流电动机驱动和步进电动机驱动

液压驱动系统：由于液压技术是一种比较成熟的技术。它具有动力大、力(或力矩)与惯量比大、快速响应高、易于实现直接驱动等特点。适于在承载能力大，惯量大以及在防焊环境中工作的这些机器人中应用。但液压系统需进行能量转换(电能转换成液压能)，速度控制多数情况下采用节流调速，效率比电动驱动系统低。液压系统的液体泄漏会对环境产生污染，工作噪声也较高。因这些弱点，近年来，在负荷为100kg以下的机器人中往往被电动系统所取代。

全液压重载机器人 气压驱动具有速度快、系统结构简单、维修方便、价格低等优点。但是由于气压装置的工作压强低，不易精确定位，一般仅用于工业机器人末端执行器的驱动。气动手抓、旋转气缸和气动吸盘作为末端执行器可用于中、小负荷的工件抓取和装配。

电机驱动是现代工业机器人的一种主流驱动方式，分为4大类电机：直流伺服电机、交流伺服电机、步进电机和直线电机。直流伺服电机和交流伺服电机采用闭环控制，一般用于高精度、高速度的机器人驱动；步进电机用于精度和速度要求不高的场合，采用开环控制；直线电机及其驱动控制系统在技术上已日趋成熟，已具有传统传动装置无法比拟的优越性能，例如适应非常高速和非常低速应用、高加速度，高精度，无空回、磨损小、结构简单、无需减速机和齿轮丝杠联轴器

## 7. 机器人的新型驱动方式有哪些？

交流电动机驱动是新近发展起来的一种驱动方法。

# chapter 6

## 1. 移动机器人的移动机构形式有哪些？

车轮式移动机构、履带式移动机构、步行式移动机构，此外还有步进式移动机构、蠕动式移动机构、混合式移动机构和蛇形移动机构等。

2. 简述移动机器人的基本构造。移动机器人包括哪些主要部件分别完成哪些功能？

移动机器人由**执行机构**、**驱动机构**和**控制系统**组成。

执行机构是移动机器人完成各种所需运动的机械部件；

驱动机构是执行机构运动的动力装置，通常由动力源、控制调节装置和辅助装置组成，常用的驱动系统有液压传动、气压传动、电力传动和机械传动四种形式；

控制系统是通过对驱动系统的控制，使得执行系统按要求工作，并检查是否正确的装置，包括程序控制和行程检测反馈部分。移动机器人的主要部件有传感器、遥控操作器和自动控制的移动载体等。

3. 轮式移动机器人通常有哪几种驱动方式？各有什么优缺点？

类型	优点	缺点
两轮移动机构	结构简单，要求精度不高	便宜、简单、可靠性高的传感器难以获得。两轮车制动时以及低速运行时极不稳定。
三轮移动机构	结构组成简单，旋转半径可以从0到无限大，任意设定。具有一定的稳定性。	旋转中心和车体中心不一致，移动方向和速度的控制需要解决。
四轮移动机构	可以实现整车灵活的零半径回转，有利于在狭窄场所改变方向。适合高速行走	用于低速的运输搬运时，费用不合算。小型机器人不大采用该方式
全方位移动车	可以在保持机体方位不变的前提下沿平面上任意方向移动，操作灵活，适合在窄小空间的中的移动作业。具备全方位移动能力也可以像普通车辆那样改变机体方位	成本较高
上下台阶车轮式机构	将普通车轮进行适当的改装，以便实现在阶梯上的移动，也可以在地面上移动	应用场景较少

#### 4. 履带式移动机器人的履带型式有哪些？各自的适用于范围是什么？

常见的履带形式有两种：驱动轮及导向轮兼作支撑轮和不做支撑轮的驱动轮和导向轮。前者适用于需要较大支撑面面积和稳定性的情况，后者适用于需要穿越障碍和需要较长的驱动轮和导向轮寿命的情况

#### 5. 履带式移动机器人的越障原理是什么？

整个爬越障碍过程可以分成两个阶段：第一阶段,先将两侧摆臂搭在台阶上，使车体在行走机构和摆动机构的共同作用下，顺利地爬到第二台阶，此时，车体实现了地面、第一台阶、第二台阶的三点接触；第二阶段，机器人只需在行走机构的作用下如同上坡一样缓缓地向上爬。由此可以看出，只要保证行走机构在结构设计上至少能够同时与两个台阶点接触，就能实现第二阶段运行的平稳性和可靠性。

#### 6. 两足机器人主要的设计难点有哪些？

步行机器人的腿在行走的过程中交替地支撑集体的重量并在负重状态下推进机体向前运动，因此腿机构必须具备与整机重量相适应的刚性和承载能力。从结构要求看，腿机构还不能过于复杂，杆件太多的腿机构形式会导致结构和传动的实现发生苦难。

## chapter 7

---

#### 1. 手指关节运动副的形式有哪些？

常见的运动副有转动副、移动副、螺旋副、圆柱副和球面副

#### 2. 灵巧手的关节驱动方式有哪些？各自的优点是什么？

电驱动：中等程度的操纵力，若采用性能良好的电动机，能获得接近液压式的反应速度，成本适中，控制比较方便，易于实现精确运动。灵巧手的研究中，电机驱动式主要的驱动方式。

气压驱动：安全性大，污染小，对人体危害小，成本低。

液压驱动：容易获得交大的操作力，能驱动较大负载，反应速度较快，过载安全性大。

形状记忆合金驱动：速度快、负载能力强。

#### 3. 灵巧手指上一般需要布置哪些传感器？

对于一个灵巧手来讲，传感系统要求小、轻、精、巧，完整地说，要有触觉、力、位置、关节转角、速度、关节力、力矩、接近觉、视觉等多参数传感系统。

#### 4. 灵巧手指关节的尺寸和回转角范围如何确定？

灵巧手的尺寸不能随意给定，应通过分析和优化得出合适的关节长度比例。人手食指根关机的屈伸角度极限一般是90度，中间关节的屈伸角度极限一般是110度，蘑菇按揭的屈伸角度一般是80度，对于机械灵巧手，其末关节在30~90范围内的時候，对目标物体施加的力矩最有效，抓取最可靠。

#### 5. 灵巧手的传动机构有哪些欠驱动？欠驱动灵巧手的优势在什么地方？

欠驱动机构是指，独立驱动器数目少于机构自由度数目，灵巧手的手指关节机构通常欠驱动。

由于手指机构中的可变约束使得手指在工作时只能释放出1自由度，所以每个欠驱动手指只需要一个驱动就可以实现对物体的自适应抓取，欠驱动灵巧手相比各手指关节独立驱动，减少了手指的体积和重量，简化了控制系统，降低了控制难度和要求。

## chapter 8

---

#### 1. 与串联机器人相比，并联机构有什么特点？

运动空间：串联的工作空间相对较大，而并联机器人的相对会小一点。

末端负载力：串联机器人负载相对较小，并联机器人的负载力大

速度：理论上串联的速度快，并联慢一点。但必须指出，在实际的包装流水线上，串联机器人应用的多，速度也快，这是结构尺寸的问题，以及控制输出等问题。

运动控制：串联机器人的逆运动学方程比较难解，并联机器人的正运动学比较难解。以六自由度机构，串联机器人的逆运动学可能有多解，而正运动学唯一解；并联机构的逆运动学是唯一的，而正运动学是多解的。

=====

在实际应用中，串联机器人通用范围更广、更流行一些，码垛、搬运、焊接；并联机器人的应用较为特殊，主要面向一些重载类型的，比如模拟平台，轻型应用主要是包装生产线。

=====

并联机构的理论基础：

1. 理论力学，主要是坐标变换
2. 螺旋理论，螺旋理论比较适用于并联结构设计与分析

## 2. 典型的并联机构有哪些？其机构组成和工作原理是什么？

常见的并联机构有：

### ① Stewart平台

一种新型的、六自由度的空间并联机构，它由上平台（动平台）、下平台（固定平台）和六个并联的、可独立自由伸缩的伸缩杆，以及球铰链组成。伸缩杆中间可以由液压缸组成的移动副或由滚珠丝杠组成的螺旋副，这是每个伸缩杆的原动件。

### ②Delta并联机器人

分为两种：

三自由度结构由3组连杆机构和摆动控制臂连接固定平台（上平台）和动平台（下平台）；

六自由度结构由6组连杆机构和摆动控制臂连接固定平台（上平台）和动平台（下平台）。

控制原理为根据笛卡尔坐标系给定的坐标和机器人的机械结构，反解出对应的电机的转动角度。

### ③Tricept机器人应用

Tricept是一种液压驱动机器人，它除了可以完成普通机床的任务外，还可以承担机器人的工作。由中心管、伺服电动机、伸缩杆、电主轴、固定平台、动平台和万向铰链组成。

## 3. 并联机构是如何命名？

一般情况，开头的数目字表示机构的分支数，后边的字母表示分支运动链的结构，一般用支链的运动副来描述，R代表转动副、P代表移动副、S代表球副、U代表万向节。

# chapter 9

---

## 1. 解释传感器的定义以及工作原理，并按两种方法将传感器分类。

**定义：**传感器是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将感受到的信息，按一定规律变换称为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。

**工作原理：**敏感元件直接感受被测量的信息并输出与被测量信息成确定关系的某一物理量，接着转换元件把敏感元件的输出转换成电路参量，最后转换电路将电路参量转换成电量。

**分类：**



按检测状态：内部传感器（位置、速度、加速度、力和压力传感器，微动开关）、外部传感器（接触、接近觉、视觉、超声波、红外传感器，语音合成器）；

按工作原理：以检测器件的工作原理命名，如应变式、压电式、压阻式、热点式检测器件等。

## 2. 机器人传感器系统的性能指标有哪些？他们各是什么意思？

**灵敏度**：灵敏度是指传感器的输出信号达到稳定时，输出信号变化与输入信号变化的比值。假如输出和输入呈线性关系，其灵敏度为： $s = \Delta y / \Delta x$

**线性度**：线性度是指传感器输出信号与输入信号之间的线性程度。

**测量范围**：测量范围是指被测量的最大允许值和最小允许值之差。

**精度**：精度是指传感器的测量输出值与实际被测量值之间的误差。

**重复性**：重复性是指传感器在对输入信号按同一方式进行全量程连续多次测量时，相应测试结果的变化程度。

**分辨率**：分辨率是指传感器在整个测量范围内所能辨别的被测量的最小变化量，或者所能辨别的不同被测量的个数。

**响应时间**：响应时间是传感器的动态特性指标，是指传感器的输入信号变化后，其输出信号随之变化并达到一个稳定值所需要的时间。

**抗干扰能力**：通常抗干扰能力是通过单位时间内发生故障的概率来定义的，因此它是一个统计指标。

## 3. 位置、位移传感器分别可以分为哪几类？它们各有什么优缺点？介绍几种常见的位置、位移传感器。

位置传感器：

常见的有接触式（结构简单、动作可靠、价格低廉）、接近式（无需和物体直接接触，动作可靠，性能稳定，频率响应快，应用寿命长，抗干扰能力强等，并具有防水、防震、耐腐蚀等特点）两种。

举例：行程开关、光电式位置传感器、涡流式接近开关、电容式接近开关、霍尔式接近开关、光电编码器。

位移传感器：

有模拟式（分为物性型、结构型）、数字式（优点是便于将信号直接送入计算机系统）两种。

举例：电位器式位移传感器（分为直线型和旋转变压器；优点是输入输出特性可变、输出信号选择范围大、不会因为失电破坏其已感觉到的信息、性能稳定、结构简单、尺寸小、重量轻、精度高；缺点是容易磨损）、直线型电位器（工作范围和分辨率受电阻器长度限制）、旋转变压器（结构简单、动作灵敏、对环境无特殊要求、维护方便、输出信号幅度大、抗干扰性强、工作可靠）。

## 4. 视觉技术与文字或者图像识别有何区别？机器人的视觉系统有哪些部分组成？它们各有什么功能？

**区别**：机器人视觉系统需要处理三维图像，既要了解物体的大小、形状，还要知道物体之间的关系，即要掌握机器人能够作业的空间感。

**组成**：

**视觉传感器**：将景物的光信号转换成电信号的器件。

**摄像机和光源控制**：取景部分应当根据具体情况自动调节光圈的焦点，以便得到容易处理得图像。

**计算机**：得到的图像信息要由计算机存储和处理，然后根据各种目的输出处理后的结果。

**图像处理机**：一般计算机都是串行运算的，要处理二维图像很费时间。在要求较高的场合，需要设置一种专用的图像处理机，以缩短计算时间。

5. 写出你所熟知的触觉传感器，并介绍他们的原理。

**压阻式触觉传感器：**压阻式触觉传感器是利用半导体材料的压阻效应和集成电路技术制成的传感器。半导体材料在受到力的作用后，电阻率发生变化，通过测量电路就可得到正比于力变化的电信号输出。

**压电式触觉传感器：**压电式传感器用于测量力和能变换为力的非电物理量，其敏感元件由压电材料制成。压电材料受力后表面产生电荷，此电荷经电荷放大器和测量电路放大和变换阻抗后就成为正比于所受外力的电量输出。

**光电式触觉传感器：**光电式传感器是将光通量转换为电量的一种传感器，光电式传感器的基础是光电转换元件的光电效应。

6. 压阻、压电、光电效应有什么区别？

**压阻：**压阻效应是指当半导体受到应力作用时，由于应力引起能带的变化，能谷的能量移动，使其电阻率发生变化的现象。

**压电：**压电效应可分为正压电效应和逆压电效应。正压电效应是指当晶体受到某固定方向外力的作用时，内部就产生电极化现象，同时在其两个表面上产生符号相反的电荷，当外力撤去后，晶体又恢复到不带电的状态，当外力作用方向改变时，电荷的极性也随之改变，晶体受力所产生的电荷量与外力的大小成正比。逆压电效应是指对晶体施加交变电场引起晶体机械变形的现象。

**光电：**光电效应是光照射到某些物质上，使该物质的导电特性发生变化的一种物理现象，可分为外光电效应和内光电效应两类。外光电效应是指在光纤作用下物体内的电子逸出物体表面向外发射的物理现象。内光电效应分为光电导效应和光生伏特效应两类。

## chapter 10

1. 描述机器人控制的基本原理，说出实现机器人控制的4个过程。

(1) 机器人控制的基本原理

- **控制的目的是**使被控对象产生控制者所期望的行为方式，即通过控制来达到使机器人各个部分按照设计者的意图工作；
- **控制的基本条件是**了解被控对象的特性，即设计者要根据设计任务，选择控制对象，深度解析被控对象的特性，以达到控制目的；
- **控制的实质是**对驱动器输出力矩的控制，即在机器人的控制系统中，设计者一般选取驱动器作为被控对象，通过调节驱动器的输出力矩，进一步控制机器人的整体动作。

(2) 实现机器人控制的4个过程

- **示教过程：**通过计算机可以接受的方式，告诉机器人去做什么，给机器人作业命令；
- **计算与控制：**负责整个机器人系统的管理、信息获取及处理、控制策略的制订，作业轨迹的规划等任务，这是机器人控制系统的核心部分；
- **伺服驱动：**根据不同的控制算法，将机器人控制策略转化为驱动信号，驱动伺服电机等驱动部分，实现机器人的高速、高精度运动，去完成指定的作业；
- **传感与检测：**通过传感器的反馈，保证机器人正确地完成指定作业，同时也将各种姿态信息反馈到机器人控制系统中，以便实时监控整个系统的运动情况。

2. 机器人控制系统由哪些部分组成？又有哪些分类方法？

(1) 组成

**软件组成：**主要是指控制软件，它包括运动轨迹规划算法和关节伺服控制算法及相应的动作程序。

**硬件组成：**主要包括中心控制器、传感器、驱动放大器、执行机构、电源等。

## (2) 分类方法

按其**控制方式**分类：集中控制方式，主从控制方式，分散控制方式

按其**运动控制方式**分类：位置控制方式（工业机器人位置控制又分为点位控制和连续轨迹控制两类），速度控制方式，力（力矩）控制方式，智能控制方式

## 3. 说明机器人控制系统的要求和特点。

**一般要求：**控制系统应该满足记忆、示教、与外围设备联系、坐标设置、人机接口、传感器接口、位置伺服、故障诊断安全保护等基本功能。

与一般的伺服系统或过程控制系统相比，机器人控制系统有如下**特点：**

（1）机器人的控制与机构运动学及动力学密切相关。机器人手足的状态可以在各种坐标下进行描述，应当根据需要，选择不同的参考坐标系，并做适当的坐标变换。经常要求解运动学正问题和逆问题，除此之外还要考虑惯性力、外力（包括重力）、哥氏力、向心力的影响。

（2）一个简单的机器人也至少有3~5个自由度，比较复杂的机器人有十几个、甚至几十个自由度。每个自由度一般包含一个伺服机构，它们必须协调起来，组成一个多变量控制系统。

（3）把多个独立的伺服系统有机地协调起来，使其按照人的意志行动，甚至赋予机器人一定的“智能”，这个任务只能由计算机来完成。因此，机器人控制系统必须是一个计算机控制系统。同时，计算机软件担负着艰巨的任务。

（4）描述机器人状态和运动的数学模型是一个非线性模型，随着状态的不同和外力的变化，其参数也在变化，各变量之间还存在耦合。因此，仅仅利用位置闭环是不够的，还要利用速度闭环，甚至加速度闭环。系统中经常使用重力补偿、前馈、解耦或自适应控制等方法。

（5）机器人的动作往往可以通过不同的方式和路径来完成，因此存在一个“最优”的问题。较高级的机器人可以用人工智能的方法，用计算机建立起庞大的信息库，借助信息库进行控制、决策、管理和操作。根据传感器和模式识别的方法获得对象及环境的工况，按照给定的指标要求，自动地选择最佳的控制规律。

## 4. 机器人基于运动坐标形式的控制方式有哪些？它们各有什么不同？

**基于关节坐标的控制：**基于关节坐标的伺服控制是目前工业机器人的主流控制方式，目前工业机器人的位置控制主要基于运动学而非动力学的控制，只适用于运动速度和加速度较小的应用场所。对于快速运动、负载变化大和要求力控的机器人还必须考虑其动力学行为。

**基于作业空间的控制：**该控制方法即所谓把末端拉向目标值得方法，不仅直观上容易理解，而且最大的优点是不含逆运动学计算，可提高控制运算速度。

## 5. 尝试分别说明机器人运动的速度控制、加速度控制、力或力矩控制。

### (1) 速度控制

分解运动的速度控制要求各伺服系统的驱动器以不同的分速度同时联合运行，能保证机器人的末端执行器沿着笛卡儿坐标轴稳定地运行。控制时先**把末端执行器期望的笛卡儿位姿分解为各关节的期望速度**，然后再对各关节进行伺服控制。

### (2) 加速度控制

机器人分解运动的加速度控制是分解运动速度控制概念的扩展，其方法是**把机器人末端执行器在笛卡儿坐标系下的加速度值分解为关节坐标系下相应各关节的加速度**，这样根据相应的系统动力学模型就可以计算出所需施加到各关节电动机上的控制力矩。

### (3) 力或力矩控制

分解运动的力和力矩控制的基本思路是确定加于机器人各关节驱动器上的控制力矩，从而**实现机器人末端执行器在笛卡儿坐标下的位姿和速度控制**。力和力矩控制的依据是机器人的动力学模型，其计算方法是对逆动力学的求解。力和力矩的控制使机器人关节空间是闭环的。