

机器人概论题库

一、选择题

1、机器人的英文单词是（ C ）

A botre B borete C robot D rebot

2、工业机器人运动自由度数一般（ C ）。

A 小于2个 B 小于3个 C 小于6个 D 大于6个

3、机器人系统由机器人的机械系统、驱动系统、控制系统及感知系统四部分组成。其中（ B ）的作用相当于人的肌肉。

A 机械系统 B 驱动系统 C 控制系统 D 感知系统

4、工业机器人从事（ D ）工作时，是按连续轨迹控制的方式进行的。

A 点焊 B 搬运 C 安插元件 D 弧焊

5、以下传感器属于末端操作器传感器的是（ A ）

A 触觉传感器 B 速度传感器 C 位置传感器 D 视觉传感器

6、机器人系统由机器人的机械系统、驱动系统、控制系统及感知系统四部分组成。其中（ A ）的作用相当于人的骨架。

A 机械系统 B 驱动系统 C 控制系统 D 感知系统

7、工业机器人的手爪按夹持原理可分为（ C ）和吸附式。

A 重力式 B 自动调整式 C 机械钳爪式 D 平行连杆式

8、工业机器人的手爪按夹持原理可分为机械钳爪式和（ C ）。

A 重力式 B 自动调整式 C 吸附式 D 平行连杆式

9、工业机器人从事（ A ）工作时，是按点位控制的方式进行的。

A 安插元件 B 抛光 C 喷漆 D 弧焊

10、以下传感器属于外部传感器的是（ A ）

A 触觉传感器 B 速度传感器 C 位置传感器 D 加速度传感器

11、机器人系统由机器人的机械系统、驱动系统、控制系统及感知系统四部分组成。其中（ D ）的作用相当于人的五官。

A 机械系统 B 驱动系统 C 控制系统 D 感知系统

12、以下传感器属于外部传感器的是（ A ）

A 视觉传感器 B 速度传感器 C 位置传感器 D 加速度传感器

13、机器人系统由机器人的机械系统、驱动系统、控制系统及感知系统四部分组成。其中（ C ）的作用相当于人的大脑。

A 机械系统 B 驱动系统 C 控制系统 D 感知系统

14、以下传感器属于内部传感器的是（ C ）

A 触觉传感器 B 速度传感器 C 视觉传感器 D 超声波传感器

15、用齐次坐标表示三维空间的一个点的坐标，用（ D ）

A $[x_0, y_0, z_0]$ B $[x_0, y_0, z_0]^T$ C $[x_0, y_0, z_0, 1]$ D $[x_0, y_0, z_0, 1]^T$

16、以下传感器属于内部传感器的是（ B ）

A 触觉传感器 B 位置传感器 C 视觉传感器 D 超声波传感器

17、以下传感器属于内部传感器的是（ B ）

A 触觉传感器 B 加速度传感器 C 视觉传感器 D 超声波传感器

18、工业机器人从事（ C ）工作时，是按点位控制的方式进行的。

A 喷漆 B 抛光 C 点焊 D 弧焊

19、以下传感器属于外部传感器的是（ D ）

A 加速度传感器 B 速度传感器 C 位置传感器 D 接近觉传感器

20、用齐次坐标表示三维空间的一个点的坐标，用（ A ）

A $[x_0, y_0, z_0, 1]^T$ B $[x_0, y_0, z_0]$ C $[x_0, y_0, z_0, 1]$ D $[x_0, y_0, z_0]^T$

21、有平移矩阵 $T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ 沿哪个坐标轴平移了（-3）单位（ B ）

A x 方向； B y 方向； C z 方向； D -y 方向；

22、工业机器人从事（ C ）工作时，是按连续轨迹控制的方式进行的。

A 点焊 B 搬运 C 弧焊 D 安插元件

23、以下传感器属于内部传感器的是（ D ）

A 触觉传感器 B 超声波传感器 C 视觉传感器 D 位移传感器

24、机器人语言是由（ A ）表示的“0”和“1”组成的字串机器码。

A 二进制 B 十进制 C 八进制 D 十六进制

25、下列哪个英文单词代表的是机器人（ D ）

A、botre B、boret C、rebot D、robot

26、机器人能力的评价标准不包括：（ C ）

A 智能 B 机能 C 动能 D 物理能

27、下列那种机器人不是军用机器人。（ C ）

A “红隼”无人机 B 美国的“大狗”机器人

C 索尼公司的AIBO 机器狗 D “土拨鼠”

28、人们实现对机器人的控制不包括什么？（ D ）

A 输入 B 输出 C 程序 D 反应

29. FMC 是（ D ）的简称。

A. 加工中心

B. 计算机控制系统

C. 永磁式伺服系统

D. 柔性制造单元。

30. 由数控机床和其它自动化工艺设备组成的（ B ），可以按照任意顺序加工一组不同工序与不同节拍的工件，并能适时地自由调度和管理。

A. 刚性制造系统

B. 柔性制造系统

C. 弹性制造系统

D. 挠性制造系统

31、工业机器人的额定负载是指在规定范围内（ A ）所能承受的最大负载允许值

A. 手腕机械接口处 B. 手臂

C. 末端执行器 D. 机座

32、步行机器人的行走机构多为（ C ）

A. 滚轮 B. 履带 C. 连杆机构 D. 齿轮机构

33、世界上第一家机器人制造工厂--尤尼梅逊公司，并将第一批机器人称为“尤尼梅物”，意思是“万能自动”，（ C ）因此被称为“工业机器人之父”。

A. 德沃尔 B. 英格伯格. 德沃尔 C. 英格伯格 D. 德沃尔

34、 机器人系统的结构由机器人的机构部分、传感器组、控制部分及信息处理

部分组成。感知机器人自身或外部环境变化信息是依靠（ A ）完成。

A. 传感器组 B. 机构部分 C. 控制部分 D. 驱动部分

35、工业机器人的手爪主要有钳爪式、磁吸式、气吸式三种。气吸式靠（ C ）把吸附头与物体压在一起，实现物体的抓取。

A. 机械手指 B. 电线圈产生的电磁力 C. 大气压力 D. 磁力

36、机器人的控制信号由计算机发出的数字信号，必须通过 D/A（数字/模拟）转换器，转换成（ B ）信号，才能让执行装置接收。

A. 数字 B. 模拟 C. “0”或“1” D. 电

37、机器人三原则是由谁提出的（ D ）

A. 深政弘 B. 约瑟夫·英格伯格 C. 托莫维奇 D. 阿西莫夫

38、当代机器人大军中最主要的机器人是（ A ）

A. 工业机器人 B. 军用机器人 C. 服务机器人 D. 特种机器人

39、手部的位姿由哪两部分变量构成的？（ B ）

A. 位置与速度 B. 位置与姿态 C. 位置与运行状态 D. 姿态与速度

40、运动学主要研究机器人的（ B ）

A. 动力源是什么 B. 运动和时间的关系

C. 动力的传递与转换 D. 运动的应用

41、动力学主要研究机器人的（ C ）

A. 动力源是什么 B. 运动和时间的关系

C. 动力的传递与转换 D. 运动的应用

42、世界上第一台机器人 Unimate 诞生于哪一年？（ C ）

A. 1955 B. 1987

C. 1961 D. 1973

二、填空题

1、机器人技术代表了机电一体化的最高成就，是当代科学技术发展最活跃的领域之一。

2、一般来说，机器人的三大特征是：拟人功能、可编程、通用性。

3、机器人最常用的两种关节是移动关节和回转关节。

4、机器人按关节连接布置形式分为串联机器人和并联机器人。

5、机器人总体设计一般分为系统分析和技术设计两大步骤。

6、机器人手部按用途分类：可分为手爪和工具两大类。

7、直线驱动机构包括齿轮齿条装置，普通丝杠，滚珠丝杠和液压（气压）缸。

8、机器人的三种驱动方式是液压驱动、气压驱动和电气驱动。

- 9、机器人力雅可比矩阵和速度雅可比矩阵是转置关系。
- 10、机器人控制系统是一个时变的、耦合的、非线性的多变量控制系统。
- 11、工业机器人编程方式一般分为机器人语言编程、示教编程、离线编程三种。
- 12、工业机器人应用水平是一个国家工业自动化水平的重要标志。
- 13、通常将机身，臂部，手腕和末端操作器称为机器人的操作臂。
- 14、机器人按控制方式分为操作机器人，程序机器人，示教-再现机器人，数控机器人，智能机器人。
- 15、工业机器人按臂部关节沿坐标轴的运动形式可分为直角坐标型，圆柱坐标型，球（极）坐标型，关节坐标型，SCARA 型五种。
- 16、机器人手部按夹持原理分类：可分为机械钳爪式、吸附式。
- 17、吸附式手部还可分为磁力吸附式和真空吸附式。
- 18、磁力吸盘有电磁吸盘、永磁吸盘两种。
- 19、工业机器人腕部的三个自由度，分别是回转、俯仰和偏转。
- 20、机器人行走机构按其运动轨迹可分为固定轨迹式和无固定轨迹式。
- 21、机器人行走机构根据其结构可分为车轮式，步行式，履带式和其他方式。
- 22、机器人中主要使用的减速器有谐波齿轮减速器和 RV 减速器。
- 23、PID 控制器由比例单元（P）、积分单元（I）、微分单元（D）组成的。
- 24、根据作业描述水平的高低，机器人语言通常可分为三级，即动作级语言、对象级语言、任务级语言。
- 25、机器人在在行走过程中，行走机构始终满足静力学的静平衡条件，也就是机器人的重心始终落在支持地面的一脚上
- 26、机身一般用于实现升降、回转和俯仰等运动，一般具有三个自由度。
- 27、机器人动力学主要研究机器人运动和力之间的关系。
- 28、机器人雅可比矩阵揭示了操作空间与关节空间的映射关系。
- 29、比较常用的机器人力控制的方法有阻抗控制、位置/力混合控制、柔顺控制和刚度控制四种。
- 29、工业机器人编程方式一般分为机器人语言编程，示教编程，离线编程三种。
- 30、机器人语言实际上是一个语言系统，包括硬件、软件和被控设备。
- 31、机器人语言操作系统包括三个基本的操作状态：监控状态、编辑状态和执行状态。

- 32、机器人语言编程的基本功能有运算功能、决策功能和通信功能、运动功能、工具指令功能、传感数据处理功能。
- 33、按应用类型分类，机器人可分为 产业用机器人、极限作业机器人 和 服务型机器人。34、工业机器人由 3 大部分、6 个子系统组成。其中 6 个子系统是 驱动系统、机械结构系统、感受系统、机器人和环境交互系统、人机交互系统、控制系统。
- 35、工业机器人的坐标形式有 直角坐标、圆柱坐标、球坐标、关节坐标 和 平面关节坐标。
- 36、目前常用的传动件的定位方法有 电气开关定位、伺服定位系统、和 机械挡块定位。
- 37、工业机器人的驱动方式有 电（直，交流）、液压、气压。其中机器人中用的最多的、精度最高的是 气动驱动。
- 38、工业机器人的机械结构系统由 机械部分、传感部分、控制部分 三大部分组成，每一个部分都有若干个自由度。
- 39、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 抓取、握紧 等作业工具。
- 40、机器人的轨迹控制方式有 点位控制 方式和 连续轨迹控制 方式。
- 41、直流电机调速方法有 调节电枢电压、调节励磁电流和弱磁调速。
- 42、常规的弧焊机器人系统由以下 5 部分组成 机器人本体、机器人控制柜、焊接电源系统、焊接传感器及系统安全保护设施、焊接工装夹具。
- 43、按用途划分机器人分为：工业机器人、特种机器人。
- 44、工业机器人最显著的特点有 拟人化、通用性、机电一体化、可编程。
- 45、工业机器人材料选择的基本要求：强度高、弹性模量大、重量轻、阻尼大、材料价格低。
- 46、移动关节导轨有五种 普通滑动导轨、气浮导轨、滚动导轨、液压动压滑动导轨、液压静压滑动导轨。
- 47、在工业机器人设计中采用的四种常用的传动消隙方法分别是：消隙齿轮、柔性齿轮消隙、偏心机构消隙、齿廓弹性复层消隙。
- 48、工业机器人手臂的设计中常用结构为：手臂直线运动机构、手臂回转运动机构。

三、名词解释

1、传感器

答：传感器是利用物体的物理、化学变化，并将这些变化变换成电信号（如电压、电流、频率等）的装置，通常由敏感元件、转换元件和基本转换电路组成的。

2、连续轨迹控制

答：连续的控制机器人手部在作业空间中的位姿，要求其严格的按照预定的路径

和速度在一定的精度范围内运动。

3、自由度

答：自由度是指机器人所具有的独立的坐标轴运动的数目，不包括末端操作器的开合自由度。机器人的自由度一般在 3-6 个之间。

4、机器人的轨迹规划

答：机器人的轨迹规划是指根据机器人作业任务的要求（作业规划），对机器人末端操作器在工作过程中位姿变化的路径、取向及其变化速度和加速度进行认为设定。

5、外部传感器

答：用于测量与机器人作业有关的外部信息，这些外部信息通常与机器人的目标识别、作业安全有关。外部传感器可获取机器人周围环境、目标物的状态特征等相关信息，使机器人和环境发生交互作用，从而使机器人对环境有自校正和自适应能力。

6、点位控制

答：要求机器人末端以一定的姿态尽快且无超调地实现相邻点之间的运动，但对相邻点之间的运动轨迹不做具体要求。

7、重复定位精度

答：指在同一环境、同一条件、同一目标动作、同一命令之下，机器人连续重复运动若干次时，其位置的分散情况，是关于精度的统计数据

8、工作空间

答：工作空间表示机器人的工作范围，它是机器人运动时手臂末端或手腕中心所能到达的所有点的集合，也称为工作区域。

9、机器人雅克比矩阵

答：研究机器人操作空间速度与关节空间速度间的线性映射关系即雅克比矩阵

10、内部传感器

答：用于测量机器人自身状态参数（如手臂间的角度等）的功能元件。

11、机器人正动力学

答：已知机器人各关节驱动力或力矩，求机器人各关节轨迹或末端执行器（位姿）轨迹。

12、机器人逆动力学

答：主要用于机器人的仿真：已知机器人关节的位移、速度和加速度，求解所需要的关节力/力矩类问题，这是实时控制的需要。

13、工业机器人。

答：工业机器人是一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置，通过可编程动作来完成各种任务并具有编程能力的多功能机械手。

14、智能机器人

答：智能机器人是一种自动化的机器，所不同的是这种机器具备一些与人或生物相似的智能能力，如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力，是一种具有高度灵活性的自动化机器。

15、工业机器人的腕部

答：连接手部与臂部的部件，起支撑手部的作用。为了使手部能处于空间任意方向，要求腕部具有回转、俯仰和偏转三个自由度。

16、工业机器人的手部

答：工业机器人的手部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。

17、正向运动学问题

答：已知各个关节和连杆的参数和运动变量，求解末端执行器（手部）的位姿。

18、反向运动学问题

答：在已知末端执行器（手部）要到达的目标位姿的情况下，如何求解各个关节的运动变量。

19、灵敏度

答：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。

20、线性度

答：线性度反映传感器输出信号与输入信号之间的线性程度。

21、测量范围

答：测量范围是指被测量的最大允许值和最小允许值之差。

22、精度

答：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。

23、重复性

答：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。测试结果的变化越小，传感器的测量误差就越小，重复性越好。对于多数传感器来说，重复性指标都优于精度指标。

24、分辨率

答：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。

25、响应时间

答：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。

26、抗干扰能力

答：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。

27、机器人机械系统

答：工业机器人的机械系统包括机身、臂部、手腕、末端操作器和行走机构等部分，每一部分都有若干自由度，构成一个多自由度的机械系统。

28、驱动系统

答：驱动系统可分为电气、液压、气压三种以及把它们结合起来应用的综合系统以及各自的优缺点。

29、控制系统

答：控制系统的任务是根据机器人的作业指令程序及从传感器反馈回来的信号，控制机器人的执行机构，使其完成规定的运动和功能。

30、感知系统

答：感知系统由内部传感器和外部传感器组成，其作用是获取机器人内部和外部环境信息，并把这些信息反馈给控制系统。

31、定位精度

答：指机器人末端操作器的实际位置与目标位置之间的偏差，由机械误差、控制算法误差与系统分辨率等部分组成。

32、定位机构

答：通常臂部有三个关节，用于改变手腕参考点的位置，称为定位机构。

33、定向机构

答：手腕部分有三个关节，这三个关节的轴线相互垂直相交，用来改变末端操作器的姿态，称为定向机构。

34、承载能力

答：是指机器人在工作范围内的任何位姿上所能承受的最大质量。

四、简答题

1、请写出五种坐标形式机器人的名称。

答：直角坐标型，圆柱坐标型，球（极）坐标型，关节坐标型，SCARA 型。

2、请简述六自由度关节型机器人的电动机布置方案。

答：对于小型机器人，J1、J2、J3 前三个关节电动机轴线与减速器轴线通常同轴，J4、J5、J6 后三个关节电动机内藏于小臂内部；对于中、大型机器人，J1、J2、J3 前三个关节电动机轴线与减速器轴线通常偏置，中间通过一级外啮合齿轮传递运动，J4、J5、J6 后三个关节电动机后置于小臂末端，从而减小运动惯量。

3、简述对工业机器人臂部设计时的基本要求。

答：臂部设计的基本要求：

- (1) 手臂应具有足够的承载能力和刚度；
- (2) 导向性要好；
- (3) 重量和转动惯量要小；
- (4) 运动要平稳定位精度要高。

4、设计机身时要注意哪几个方面的问题

答：(1) 要有足够的刚度、强度和稳定性；

(2) 运动要灵活，用于实现升降运动的导套长度不宜过短，以避免发生卡死现象；

- (3) 驱动方式要适宜；
- (4) 结构布置要合理。

5、设计和应用工业机器人时应遵循的准则？

答：(1) 在恶劣的工作环境中应用机器人。把人从恶劣的工作岗位上代替下来，改善工人的劳动条件；

(2) 在生产率和生产质量落后的部门应用机器人。提高生产效率和生产质量；

(3) 从长远考虑需要机器人。机器人具有通用性，在一定条件下其寿命较长而且能够持续不间断的工作；

(4) 机器人的使用成本。从各方面比较人和机器人的使用成本，选择成本低，效益高的那一个；

(5) 应用机器人时需要人。目前，机器人不可能完全取代人进行工作，需要考虑机器人的实际工作能力，在人的控制下完成一些特定的工作。

6、工业机器人的主要技术参数有哪些？(至少写出 5 个)

答：工业机器人的主要技术参数一般有自由度、精度、重复定位精度、工作范围、承载能力及最大速度等。

7、简述机器人手部的特点。

答：工业机器人的手部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。有以下几个特点：

- (1) 手部与手腕相连处可拆卸；
- (2) 手部是工业机器人的末端操作器；

- (3) 手部的通用性比较差;
- (4) 手部是一个独立的部件。

8、工业机器人三大矩阵的作用及具体映射关系式。

答：(1) 齐次坐标变换矩阵 T：反映了两个空间位置之间的映射关系，映射关系式为 $X=TXb,$;

(2) 速度雅可比矩阵 J：两个空间速度之间的映射关系，映射关系式为 $V = J(q)\dot{q}$;

(3) 力雅可比矩阵 JT：两个空间受力之间的映射关系，映射关系式为 $\tau= JTF$ 。

9、机器人动力学主要研究的内容是什么？请说明什么是机器人动力学的正问题和逆问题。

答：(1) 机器人动力学主要研究机器人运动和受力之间的关系。

(2) 动力学正问题：根据各关节的驱动力（或力矩），求解机器人的运动（包括关节位移、速度和加速度）类问题。

(3) 动力学逆问题，主要用于机器人的仿真：已知机器人关节的位移、速度和加速度，求解所需要的关节力/力矩类问题，这是实时控制的需要。

10、工业机器人的传感器分为哪几类？它们分别有什么作用？

答：工业机器人所用的传感器可分为内部传感器和外部传感器两大类。

(1) 内部传感器是用于测量机器人自身状态参数（如手臂间的角度等）的功能元件。安装在机器人坐标轴中，用来感知机器人自身的状态，以调整和控制机器人的行动。通常由位置、速度和加速度传感器等组成。

(2) 外部传感器用于测量与机器人作业有关的外部信息，这些外部信息通常与机器人的目标识别、作业安全有关。外部传感器可获取机器人周围环境、目标物的状态特征等相关信息，使机器人和环境发生交互作用，从而使机器人对环境有自校正和自适应能力。它又分为末端操作传感器和环境传感器两类。

11、工业机器人对移动导轨的要求？

答：(1) 间隙小或能消除间隙；(2) 在垂直于速度方向上的刚度高；(3) 摩擦系数小但不随速度变化 (4) 高阻尼；(5) 移动导轨和其辅助元件尺寸小，惯量低。

12、传动间隙产生的主要原因有哪些？

答：(1) 由于制造及装配误差所产生的间隙；(2) 为适应热膨胀而特意留出的间隙。

13、消除传动间隙的主要途径有哪些？

答：(1) 提高装配和制造精度；(2) 设计可调整传动间隙的机构；(3) 设计弹性补偿零件。

14、臂部设计的基本要求有哪些？

答：(1) 强度要求高 (2) 导向性好 (3) 重量轻 (4) 运动要平稳、定位精度要高。

15、按驱动形式划分工业机器人分为哪几类？

答：气压传动，液压传动，电驱动

16、在工业机器人设计中对手腕设计主要的要求是什么？

答：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、俯仰和偏转三个自由度

17、在工业应用中，工业机器人主要分为哪几类？

答：弧焊，点焊，装配，喷漆，抛光，搬运

18、工业机器人的主要技术参数有哪些？

答：自由度，重复定位精度，工作范围，承载能力，最大工作速度。

19、按机器人研究、开发和实用化的进程分类，机器人划分为三代，简述这三代机器人的主要特性？

答：(1) 具有示教再现功能，或具有可编程的 NC 装置，但对外部信息不具有反馈功能。

(2) 不但具有内部传感器而且具有外部传感器，能获取外部信息。

(3) 具有多种传感器，能感知和领会外部环境信息，包括具有理解像人下达的语言指令这样的能力，能够学习，具有决策上的自治能力。

20. 什么是自由度？怎样计算自由度？

答：自由度指的是计算某一统计量时，取值不受限制的变量个数。通常 $df=n-k$ 。其中 n 为样本含量， k 为被限制的条件数或变量个数，或计算某一统计量时用到其它独立统计量的个数。自由度通常用于抽样分布中。

21. 在工业机器人设计中对手腕设计主要的要求是什么？

答：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、俯仰和偏转三个自由度

22.简述绝对式光电编码器的工作原理。

答：绝对式编码器是利用自然二进制或循环二进制（葛莱码）方式进行光电转换的，编码的设计可采用二进制码、循环码、二进制补码等。

23.请简要介绍按实现运动的方式，驱动机构可分为几种？

答：按实现运动的方式，驱动机构可分为直线驱动机构和旋转驱动机构。

(1) 直线驱动机构包括齿轮齿条装置，普通丝杠，滚珠丝杠和液压（气压）缸。

(2) 旋转驱动机构包括齿轮机构和同步带传动机构。

24.简述普通丝杠传动的原理。为什么它在机器人上很少采用。

答：普通丝杠驱动是由一个旋转的精密丝杠驱动一个螺母沿丝杠轴向移动。由于普通丝杠的摩擦力较大,效率低,惯性大,在低速时容易产生爬行现象,而且精度低,回差大,因此在机器人上很少采用。

25.试述滚珠丝杠传动的优点。

答：可以消除传动过程中正负方向的间隙，精度很高，在良好的润滑下摩擦系数很低，便宜。

26.如果让你设计一个机器人，你最希望设计一个什么样的机器人？它由哪几个部分组成？制作它需要完成些什么工作？

答：我想有个机器人，它不是一个只会不停工作的机器人，我只希望它能在我孤独寂寞的时候陪伴我，让我可以把所有的心事跟它分享，它会在失落的时候鼓励我，不要放弃和气馁。

27、请为工业机器人和智能机器人给出定义。

答：工业机器人是一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置，通过可编程动作来完成各种任务并具有编程能力的多功能机械手。

智能机器人是一种自动化的机器，所不同的是这种机器具备一些与人或生物相似的智能能力，如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力，是一种具有高度灵活性的自动化机器。

28、简述机器人的组成部分及其作用。

答：机器人是由机械系统、驱动系统、控制系统和感知系统四部分组成。

其中，机械系统由机身、肩部、手腕、末端操作器和行走机构组成；工业机器人的机械系统的作用相当于人的身体。

驱动系统可分为电气、液压、气压驱动系统以及它们结合起来应用的综合系统组合；该部分的作用相当于人的肌肉。

控制系统的任务是根据机器人的作业指令程序及从传感器反馈回来的信号，控制机器人的执行机构，使其完成规定的运动和功能；该部分的作用相当于人的大脑。

感知系统由内部传感器和外部传感器组成。其中，内部传感器用于检测各关节的位置、速度等变量，为闭环伺服控制系统提供反馈信息；外部传感器用于检测机器人与周围环境之间的一些状态变量，如距离、接近程度、接触程度等，用于引导机器人，便于其识别物体并作出相应的处理。该部分的作用相当于人的五官。

29、工业机器人机械系统总体设计主要包括哪几个方面的内容？

答：工业机器人的设计过程是跨学科的综合设计过程，设计机械设计、传感技术、计算机应用和自动控制等多方面的内容。

30、机器人的三种驱动方式是什么？

答：机器人常用的驱动方式主要有液压驱动、气压驱动和电气驱动三种基本类型。

液压驱动方式

31、请简述机器人液压驱动方式的优缺点。

答：液压驱动的特点是功率大，结构简单，可以省去减速装置，能直接与被驱动的连杆相连，响应快，伺服驱动具有较高的精度，但需要增设液压源，而且易产生液体泄漏，故目前多用于特大功率的机器人系统。

优点:(1)液压容易达到较高的单位面积压力体积较小,可以获得较大的推力或转矩。(2)液压系统介质的可压缩性小,工作平稳可靠,并可得到较高的位置精度。

(3)液压传动中,力、速度和方向比较容易实现自动控制。(4)液压系统采用油液作介质,具有防锈性和自润滑性能,可以提高机械效率,使用寿命长。

缺点:(1)油液的粘度随温度变化而变化,这将影响工作性能。高温容易引起燃烧、爆炸等危险。(2)液体的泄漏难于克服,要求液压元件有较高的精度和质量,故造价较高(3)需要相应的供油系统,尤其是电液伺服系统要求严格的滤油装置,否则会引起故障。

32、请简述机器人气压驱动方式的优缺点。

答：气压驱动的能源、结构都比较简单，但与液压驱动相比，同体积条件下功率较小，而且速度不易控制，所以多用于精度不高的点位控制系统。

优点：(1)压缩空气粘度小，容易达到高速(1 m / s)

(2)利用工厂集中的空气压缩机站供气，不必添加动力设备

(3)空气介质对环境无污染，使用安全，可直接应用于高温作业

(4)气动元件工作压力低，故制造要求也比液压元件低。

缺点:(1)压缩空气常用压力为 0.4~0.6 MPa,若要获得较大的压力,其结构就要相对增大。(2)空气压缩性大,工作平稳性差,速度控制困难,要达到准确的位置控制很困难。(3)压缩空气的除水问题是一个很重要的问题,处理不当会使钢类零件生锈,导致机器人失灵。此外,排气还会造成噪声污染。

32、请简述机器人电气驱动方式的优缺点。

电气驱动优点为：能源简单，机构速度变化范围大，效率高，速度和位置精度都很高，且使用方便、噪声低，控制灵活。缺点是：对于步进电动机驱动系统多为开环控制，简单，功率较小，多用于低精度、小功率的机器人；直流伺服电动机驱动系统易于控制，有较理想的机械特性，但其电刷易磨损，易形成火花；交流伺服电动机驱动系统结构简单，运行可靠，可以频繁的启动、制动，但控制较复杂。

33、什么是机器人运动学逆解的多重性？

答：机器人运动学逆解的多重性是指对于给定的机器人工作领域内，手部可以多方向达到目标点，因此，对于给定的在机器人的工作域内的手部位置可以得到多个解。

34、机器人力雅可比矩阵和速度雅可比矩阵有何联系？

答：力雅可比矩阵是速度雅可比矩阵的转置。

35、何谓点位控制？举例说明它在工业上的应用。

答：点位控制：指只规定各点的位姿，不规定各点之间的运动轨迹的控制方式。

应用：从事在印刷电路板上安插元件‘点焊’搬运及上/下料等作业的工业人

36、何谓连续轨迹控制？举例说明它在工业上的应用。

连续轨迹控制：指规定机器人定位位姿轨迹的控制方式。

应用：从事弧焊、喷漆、切割等作业的工业机器人

37、光电编码器可用于测量的模拟量有哪些？请说明绝对式与增量式光电编码器各自适用的场合。

答：光电编码器可以测量的模拟量：转角、直线位移、转轴的转速和转向
适用场合：

绝对式：用于长期定位控制的装置和设备中

增量式：广泛应用于数控机床、回转台、伺服传动、机器人、雷达、军事目标测定仪器等需要检测角度的装置和设备中。

38、说明接近传感器的应用、常见种类及工作原理。

答：接触传感器用于判断在一规定距离范围内是否有物体存在，主要用于物体抓取或避障类近距离工作的场合。常见的种类：常见的接近觉传感器有电感式、电容式、光电式、霍尔效应式、超声波式和气压式五种。工作原理：电感式：利用涡流感知物体接近；电容式：利用物体接近开关时，物体和接近开关的介电常数发生变化的情况来控制开关；光电式：利用被检测物体对红外光束的遮挡或反射，由同步回路选通来检测物体的有无；霍尔效应式：利用霍尔效应判断是否接近铁磁体；超声波式：测量发射换能器发出的超声波经目标反射后沿原路返回接收器所需的时间来监测物体；气压式：通过检测气流喷射遇到物体时的压力变化来检测和物体之间的距离。

39、工业机器人的触觉传感器能感知哪些环境信息？

答：广义上，它包括触觉、压觉、力觉、滑觉、冷热觉等与接触有关的感觉；狭义上，它是机械手与对象接触面上的力感觉。

40、什么叫“机器人的三守则”？它的重要意义是什么？

答：(1) 机器人必须不危害人类，也不允许它眼看人类将受伤害而袖手旁观；(2) 机器人必须绝对服从人类，除非这种服从有害于人类；(3) 机器人必须保护自身不受伤害，除非为了保护人类或者人类命令它做出牺牲等。意义：给机器人社会附以新的伦理性，并且机器人概念更加通俗化，更易于为人类社会所接受，至今，

它仍为机器人研究人员、设计制造厂家和用户，提供了十分有意义的指导方针。

41、机器人系统实际上是一个典型的机电一体化系统，请简述其工作原理。

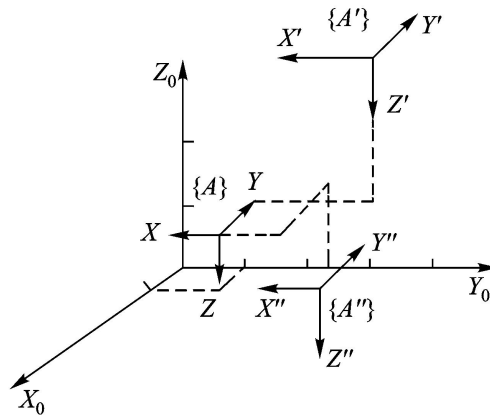
答：控制系统发出动作指令，控制驱动器动作，驱动器带动机械系统运动，使末端操作器到达空间某一位置和实现某一姿态，实施一定的作业任务。末端操作器在空间的实时位姿由感知系统反馈给控制系统，控制系统把实际位姿与目标位姿相比较，发出下一个动作指令，如此循环，直到完成作业任务为止。

42、请简述六自由度关节型机器人的关节所起作用。

答：J1、J2、J3 前三个关节轴，称为机器人的定位关节，决定了机器人手腕在空中的位置和作业范围；J4、J5、J6 后三个关节轴称为机器人的定向关节，决定了机器人手腕在空中的方向和姿态。

五、计算题

1、如下图所示，动坐标系{A}的坐标原点在固定坐标系{O:X₀Y₀Z₀}中的坐标值为(1, 1, 1)。动坐标系{A}做了如下两种变换：(1) 动坐标系{A}相对于固定坐标系的 X₀Y₀Z₀ 轴作 (-1, 2, 2) 平移后到{A'}；(2) 动坐标系{A}相对于自身坐标系(即动系)的 X、Y、Z 轴分别作 (-1, -1, 2) 平移后到{A''}。



(1) 请写出动坐标系{A}的起始矩阵表达式。

(2) 写出{A'}的矩阵表达式。

(3) 写出{A''}的矩阵表达式。

解：(1) 动坐标系{A}的起始矩阵表达式为：

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

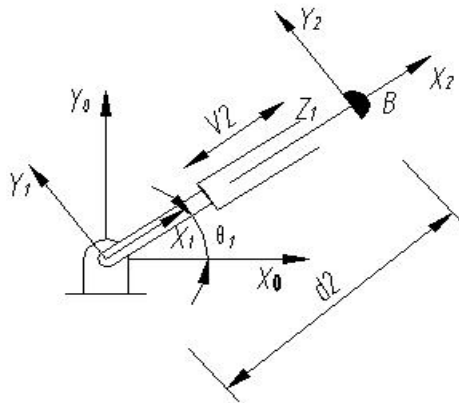
$$(2) \{A'\} = \text{Trans}(-1, 2, 2)A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & -1 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(3) \{A''\} = A \text{Trans}(-1, -1, 2) = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \parallel \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

2、如图所示的二自由度平面机械手，关节1为转动关节，关节变量为 θ_1 ，关节2为移动关节关节变量分别为 d_2 。关节坐标系如下图所示。

(1) 写出该机械手的运动方程式。

(2) 当 θ_1 为 60° ， $d_2=1.00$ 时，求手部中心位置值。



解：参数和关节变量

连杆	θ	α	a	d
1	θ_1	0	0	0
2	0	0	d_2	0

$$A_1 = \text{Rot}(Z, \theta_1) = \begin{bmatrix} C\theta_1 & -S\theta_1 & 0 & 0 \\ S\theta_1 & C\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2 = \text{Trans}(d_2, 0, 0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

机械手的运动方程式：

$$T_2 = A_1 \cdot A_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & d_2 \cos \theta_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & d_2 \sin \theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(2) 当 θ_1 为 60° ， $d_2=1.00$ 时

$$\text{手部中心位置值 } B = \begin{bmatrix} 0.5 & -0.866 & 0 & 0.5 \\ 0.866 & 0.5 & 0 & 0.866 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3、已知动坐标系{B}初始位姿与固定坐标系{A}重合，首先{B}相对固定坐标系{A}的 Z_A 轴旋转 30° ，然后再相对于固定坐标系{A}平移位置矢量 $10i+5j+2k$ ，此时，坐标系{B}到达{B'}的位置。

(1) 请写出动坐标系{B}的起始矩阵表达式。

(2) 求坐标系{B'}的矩阵表达式。

(3) 若动坐标系{B}上固定有一点矢量 $V=[3 \ 7 \ 4 \ 1]^T$ ，求经过上述变换后该点矢量相对于固定坐标系{A}的表达式U。

解：(1) 动坐标系{B}的起始矩阵表达式为：

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(2)

$$\{B'\} = \text{Trans}(10,5,2)\text{Rot}(Z, 30^\circ)B$$

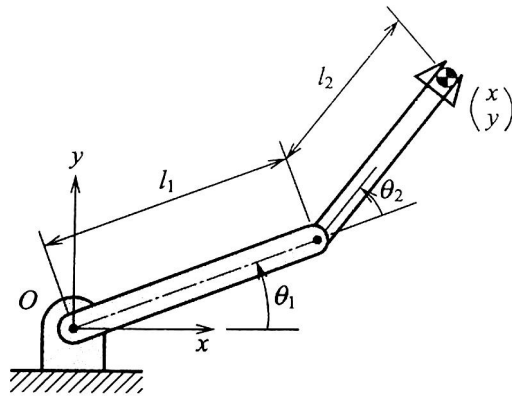
$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 10 \\ 0 & 1 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & 0 \\ \frac{2}{2} & \frac{2}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & 0 & 10 \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & 5 \\ \frac{2}{2} & \frac{2}{2} & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(3) U = \{B'\}V = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & 0 & 10 \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & 5 \\ \frac{2}{2} & \frac{2}{2} & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3 \\ 7 \\ 4 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3\sqrt{3}}{2} + \frac{13}{2} \\ \frac{7\sqrt{3}}{2} + \frac{13}{2} \\ 6 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9.098 \\ 12.562 \\ 6 \\ 1 \end{bmatrix}$$

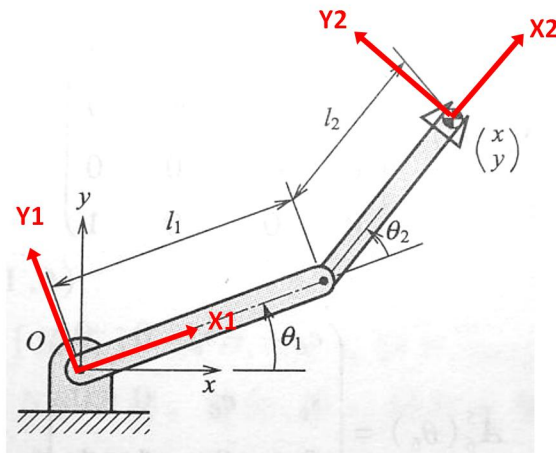
4、如图所示的二自由度平面机械手，关节1，关节2均为转动关节，关节1和关节2的关节变量分别为 θ_1 、 θ_2 ， l_1 和 l_2 为连杆的长度均为1m。

(1) 建立关节坐标系，并写出该机械手的运动方程式。(10分)

(2) 当 θ_1 、 θ_2 均为 30° 时，求手部的中心位置的坐标。(2分)



解：(1) 1、建立如图所示的坐标系



参数和关节变量如下表所示：

连杆	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	0	l_1	0
2	θ_2	0	l_2	0

5、求两连杆间的齐次坐标变换矩阵

$$A_1 = \text{Rot}(Z, \theta_1) \text{Trans}(l_1, 0, 0);$$

$$A_2 = \text{Rot}(Z, \theta_2) \text{Trans}(l_2, 0, 0)$$

3、机械手的运动方程式： $T_2 = A_1 \cdot A_2 =$

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & l_1 \cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & l_1 \sin\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & l_2 \cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & l_2 \sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} c_{12} & -s_{12} & 0 & l_1 c_{12} + l_2 c_{12} \\ s_{12} & c_{12} & 0 & l_1 s_{12} + l_2 s_{12} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

由上可得到手腕中心的运动方程为：

$$\begin{cases} p_x = l_1 c_1 + l_2 c_{12} \\ p_y = l_1 s_1 + l_2 s_{12} \\ p_z = 0 \end{cases}$$

(2) 当 $\theta_1=30^\circ$, $\theta_2=30^\circ$, $l_1=l_2=1$ 时:

手部的中心位置的坐标为：

$$\begin{bmatrix} \frac{1+\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1+\sqrt{3}}{2} \\ 2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

6、点矢量 v 为 $[10.00 \quad 20.00 \quad 30.00]^T$, 相对参考系作如下齐次坐标变换:

$$A = \begin{bmatrix} 0.866 & -0.500 & 0.000 & 11.0 \\ 0.500 & 0.866 & 0.000 & -3.0 \\ 0.000 & 0.000 & 1.000 & 9.0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

写出变换后点矢量 v 的表达式, 并说明是什么性质的变换, 写出其经平移坐标变换和旋转变换后的其次坐标变换矩阵 (即写出旋转算子 Rot 及平移算子 Trans)。

解: $v' = Av = \begin{bmatrix} 0.866 & -0.500 & 0.000 & 11.0 \\ 0.500 & 0.866 & 0.000 & -3.0 \\ 0.000 & 0.000 & 1.000 & 9.0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 10.00 \\ 20.00 \\ 30.00 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9.66 \\ 19.32 \\ 39 \\ 1 \end{bmatrix}$

属于复合变换:

旋转算子 Rot (Z, 30) = $\begin{bmatrix} 0.866 & -0.5 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.866 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 平移算子 Trans (11.0, -3.0, 9.0)

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 11.0 \\ 0 & 1 & 0 & -3.0 \\ 0 & 0 & 1 & 9.0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

7、有一旋转变换，先绕固定坐标系 Z_0 轴转 45° ，再绕其 X_0 轴转 30° ，最后绕其 Y_0 轴转 60° ，试求该齐次坐标变换矩阵。

解：齐次坐标变换矩阵 $R = \text{Rot}(Y, 60^\circ) \text{Rot}(X, 30^\circ) \text{Rot}(Z, 45^\circ)$

$$= \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0.866 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -0.866 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.866 & -0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.866 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.707 & -0.707 & 0 & 0 \\ 0.707 & 0.707 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 0.660 & -0.047 & 0.750 & 0 \\ 0.612 & 0.612 & -0.5 & 0 \\ -0.436 & -0.436 & 0.433 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

8、坐标系{B}起初与固定坐标系{O}相重合，现坐标系{B}绕 Z_B 旋转 30° ，然后绕旋转后的动坐标系的 X_B 轴旋转 45° ，试写出该坐标系{B}的起始矩阵表达式和最后矩阵表达式。

解：起始矩阵： $B=O=$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

最后矩阵： $B' = \text{Rot}(Z, 30^\circ) B \text{Rot}(X, 45^\circ) =$

$$\begin{bmatrix} 0.866 & -0.353 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.612 & -0.612 & 0 \\ 0 & 0.707 & 0.707 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

9、写出齐次变换阵 ${}^A_B H$ ，它表示坐标系{B}连续相对固定坐标系{A}作以下变换：

(1) 绕 Z_A 轴旋转 90° 。

(2) 绕 X_A 轴旋转 -90° 。

(3) 移动 $[3 \ 7 \ 9]^T$ 。

解： ${}^A_B H = \text{Trans}(3, 7, 9) \text{Rot}(X, -90^\circ) \text{Rot}(Z, 90^\circ)$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & 7 \\ 0 & 0 & 1 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & -1 & 7 \\ 1 & 0 & 0 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

10、写出齐次变换矩阵 ${}^B H$ ，它表示坐标系{B}连续相对自身运动坐标系{B}作以下变换：

(1) 移动 $[3 \ 7 \ 9]^T$ 。

(2) 绕 X_B 轴旋转 90° 。

(3) 绕 Z_B 轴转 -90° 。

$${}^B H = \text{Trans}(3, 7, 9) \text{Rot}(X, 90) \text{Rot}(Z, 90) =$$

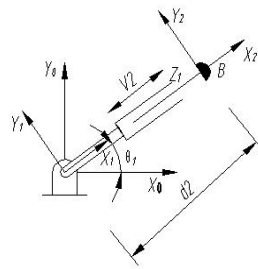
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & 7 \\ 0 & 0 & 1 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & -1 & 7 \\ 1 & 0 & 0 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

11、如题图所示的二自由度平面机械手，关节1为转动关节，关节变量为 θ_1 ；关节2为移动关节，关节变量为 d_2 。试：

(1) 建立关节坐标系，并写出该机械手的运动方程式。

(2) 按下列关节变量参数求出手部中心的位置值。

θ_1	0	30	60	90
d_2/m	0.50	0.80	1.00	0.70



解：建立如图所示的坐标系

参数和关节变量

连杆	θ	α	a	d
1	θ_1	0	0	0
2	0	0	d_2	0

$$A_1 = Rot(Z, \theta_1) = \begin{bmatrix} C\theta_1 & -S\theta_1 & 0 & 0 \\ S\theta_1 & C\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2 = Trans(d_2, 0, 0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

机械手的运动方程式:

$$T_2 = A_1 \cdot A_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & d_2 \cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & d_2 \sin\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

当 $\theta_1=0$, $d_2=0.5$ 时:

$$\text{手部中心位置值 } B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

当 $\theta_1=30$, $d_2=0.8$ 时

$$\text{手部中心位置值 } B = \begin{bmatrix} 0.866 & -0.5 & 0 & 0.433 \\ 0.5 & 0.866 & 0 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

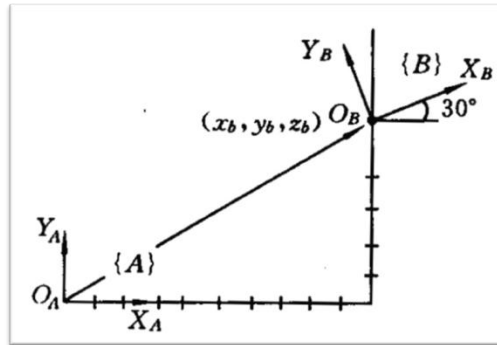
当 $\theta_1=60$, $d_2=1.0$ 时

$$\text{手部中心位置值 } B = \begin{bmatrix} 0.5 & -0.866 & 0 & 0.5 \\ 0.866 & 0.5 & 0 & 0.866 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

当 $\theta_1=90$, $d_2=0.7$ 时

$$\text{手部中心位置值 } B = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0.7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

12、下图表示固联于刚体的坐标系{B}位于 OB 点, $x_b=10, y_b=5, z_b=0$ 。ZB 轴与画面垂直, 坐标轴{B}相对固定坐标系 {A}有一个 30° 的偏转, 试写出表示刚体位姿的坐标系{B}的 (4×4) 的矩阵表达式。



解：XB 的方向列阵：

$$N = [\cos 30^\circ \quad \cos 60^\circ \quad \cos 90^\circ \quad 0]^T$$

$$= [0.866 \quad 0.500 \quad 0.000 \quad 0]^T$$

YB 的方向列阵：

$$O = [\cos 120^\circ \quad \cos 30^\circ \quad \cos 90^\circ \quad 0]^T$$

$$= [-0.500 \quad 0.866 \quad 0.000 \quad 0]^T$$

ZB 的方向列阵：

$$A = [\cos 90^\circ \quad \cos 90^\circ \quad \cos 0^\circ \quad 0]^T$$

$$= [0.000 \quad 0.000 \quad 1.000 \quad 0]^T$$

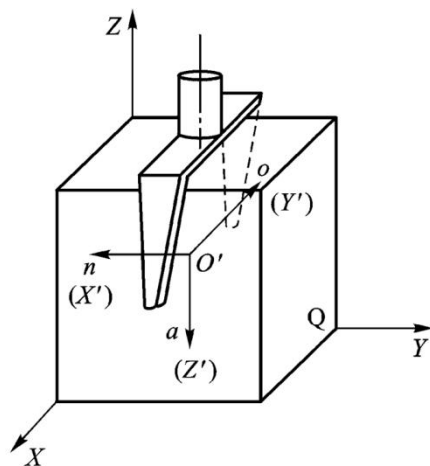
坐标系{B}的位置阵列：

$$P = [10.0 \quad 5.0 \quad 0.0 \quad 1]^T$$

坐标系{B}的位姿为

$$B = [n, o, a, p]$$

13、下图表示手部抓握物体 Q，物体为边长 2 个单位的正立方体，写出表达该手部位姿的矩阵式。



解：因为物体 Q 形心与手部坐标系 $O' x' y' z'$ 的坐标原点 Q' 相重合，所以手部位姿的 (4×1) 列阵为： $P = [1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$

手部坐标系 x' 轴的方向可用单位矢量 n 来表示：

$$n: \alpha = 90^\circ \quad \beta = 180^\circ \quad \gamma = 90^\circ$$

$$n_x = \cos \alpha = 0$$

$$n_y = \cos \beta = -1$$

$$n_z = \cos \gamma = 0$$

$$n = [0 \ -1 \ 0 \ 0]^T$$

同理，手部坐标系 Y' 轴与 Z' 轴的方向可分别用单位矢量 o 和 a 表示：

$$o: \quad o_x = -1 \quad o_y = 0 \quad o_z = 0$$

$$a: \quad a_x = 0 \quad a_y = 0 \quad a_z = -1$$

则手部位姿可用矩阵表达为

$$T = [n \quad o \quad a \quad p] = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

14、活动坐标系 O,UVW 与固定参考坐标系 OXYZ 初始位置重合，经下列坐标变换：绕 Z 轴旋转 90°，再绕 Y 轴旋转 90°，最后相对于固定坐标系平移位置向量 4i-3j+7k，求复合齐次变换矩阵 T。

解：活动坐标系绕固定坐标系 Z 轴旋转 90° 的齐次坐标变换矩阵为

$$T_1 = \text{Rot}(z, 90)$$

活动坐标系绕固定坐标系 Y 轴旋转 90° 的齐次坐标变换矩阵为

$$T_2 = \text{Rot}(y, 90)$$

活动坐标平移 4i-3j+7k 的齐次坐标变换矩阵为

$$T_3 = \text{Trans}(4, -3, 7)$$

故复合齐次坐标变换矩阵 T 为

$$T = T_3 T_2 T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & -3 \\ 0 & 0 & 1 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & -3 \\ 0 & 1 & 0 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

15、活动坐标系 O,UVW 与固定参考坐标系 OXYZ 初始位置重合，假定活动坐标系上的点 P (7,3,2)^T 经历下列变换，求出点 P 变换后该点相对于固定坐标系的坐标。

(1) 绕 Z 轴旋转 90°；

(2) 然后平移 [4, -3, 7]；

(3) 最后，绕 Y 轴旋转 90°

解：表示该点坐标的方程为：

$$P_{xyz} = \text{Rot}(y, 90) \text{Trans}(4, -3, 7) \text{Rot}(z, 90) P_{uvw}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & -3 \\ 0 & 0 & 1 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9 \\ 4 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

16、活动坐标系 O,UVW 与固定参考坐标系 OXYZ 初始位置重合，假定活动坐标系上的点 P (7,3,2)^T 经历下列变换，求出点 P 变换后该点相对于固定坐标系的坐

标。

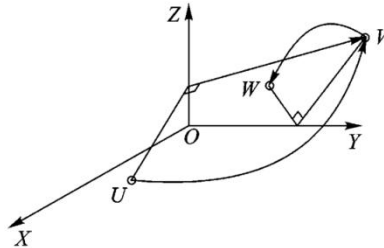
- (1) 绕 W 轴旋转 90° ；
- (2) 然后沿 U、V、W 轴平移[4, -3, 7]；
- (3) 最后，绕 V 轴旋转 90°

解：因为变换相对于当前坐标系，因此每个变换矩阵依次右乘，可得表示该点坐标的方程为：

$$P_{xyz} = Rot(w,90)Trans(4,-3,7)Rot(v,90)P_{uvw}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & -3 \\ 0 & 0 & 1 & 7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 6 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

17、已知坐标系中点 U 的位置矢量 $u=[7 \ 3 \ 2 \ 1]^T$ ，将此点绕 Z 轴旋转 90° ，再绕 Y 轴旋转 90° ，如图所示，求旋转变换后所得的点 W。



解：

$$w = Rot(y,90^\circ)Rot(z,90^\circ)u$$

$$= \begin{bmatrix} c\theta & 0 & s\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s\theta & 0 & c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c\theta & -s\theta & 0 & 0 \\ s\theta & c\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \\ 7 \\ 3 \\ 1 \end{bmatrix}$$

六、论述题

1、机器人智能是否会超过人类智能？为什么？人类是否面临机器人的挑战？为什么？如何迎接这一挑战？请写一篇不低于 300 字的论述文。

所谓人工智能（英文缩写为 AI）既是是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。就算人工智能再厉害，它只不过是无限接近于人的智能而已，而不能超越人的智能，但是不可否认的是从宏观上和具体应用的方面来看，人工智能的确要比人厉害，因为在控制设备方

面它可以面面俱到，而人可能会有疏忽，但是人工智能却缺少智能的最基本也是最重要的三件能力，那就是创造、思考和情感，就此看来人工智能还是远不及人类智能的。眼下还不可能，毕竟当前的计算机智能还不具备复杂的自学习功能，所以学习内容也不会超过人类教给它的范围（受人类编制的程序所限）。但不排除将来的智能系统能够自学人类未教给它的东西（自编程功能），那时才可以说超越人类智能的问题。

2、旋转矩阵的几何意义是什么？

旋转矩阵的几何意义：为了研究机器人的运动和操作，往往不仅要表示空间某一点的位置，而且需要表示物体的方位，物体的方位可由某个固接于物体的坐标系表述。为了规定空间某物体 **B** 的方位，设置一直角坐标系 $\{B\}$ 与此刚体固接，而此时也有一个参考坐标系 $\{A\}$ ，而为了表示 **B** 相对于坐标系 **A** 的方位就引入了旋转矩阵。

- (1) 可以表示固定于刚体上的坐标系 $\{B\}$ 对参考坐标系的姿态矩阵。
- (2) 可作为坐标变换矩阵。它使得坐标系 $\{B\}$ 中的点的坐标变换成 $\{A\}$ 中点的坐标。
- (3) 可作为算子，将 $\{B\}$ 中的矢量或物体变换到 $\{A\}$ 中。