

上海大学自学考试

理论与实践实验指导书



上海大学

2012年4月15日

实验1 机器人的机械系统

2.1 实验目的

- 1、了解机器人机械系统的组成；
- 2、了解机器人机械系统各部分的原理及作用；
- 3、掌握机器人单模块运动的方法。

2.2 实验设备

- 1、模块化机器人一台；
- 2、模块化机器人控制柜一台。

2.3 实验原理 机器人各模块机械系统主要由以下几大部分组成：原动部件、传动部件、执行部件。基本机械结构连接方式为原动部件→传动部件→执行部件。机器人的传动结构简图如图2-1所示。

模块1传动链主要由步进电机、谐波减速器构成。

模块2传动链主要由步进电机（或伺服电机）、谐波减速器构成。

模块3传动链主要由步进电机、行星减速器、同步带构成。

模块4传动链主要由步进电机、涡轮蜗杆传动构成。

模块5传动链主要由步进电机、行星减速器、同步带构成。

模块6传动链主要由步进电机、锥齿轮传动构成。

在机器人末端还有一个气动夹持器或电磁铁。

原动部件包括步进电机和伺服电机两大类，模块2采用步进电机或伺服电机驱动方式；模块1、3、4、5、6采用步进电机驱动方式。本机器人中采用了同步齿型带传动、谐波减速传动、锥齿轮传动、涡轮蜗杆等传动方式。执行部件采用了气动手爪机构或电磁铁吸附机构，以完成抓取、装配等作业。

下面对机器人中采用的各传动部件的工作原理及特点作以简要介绍。

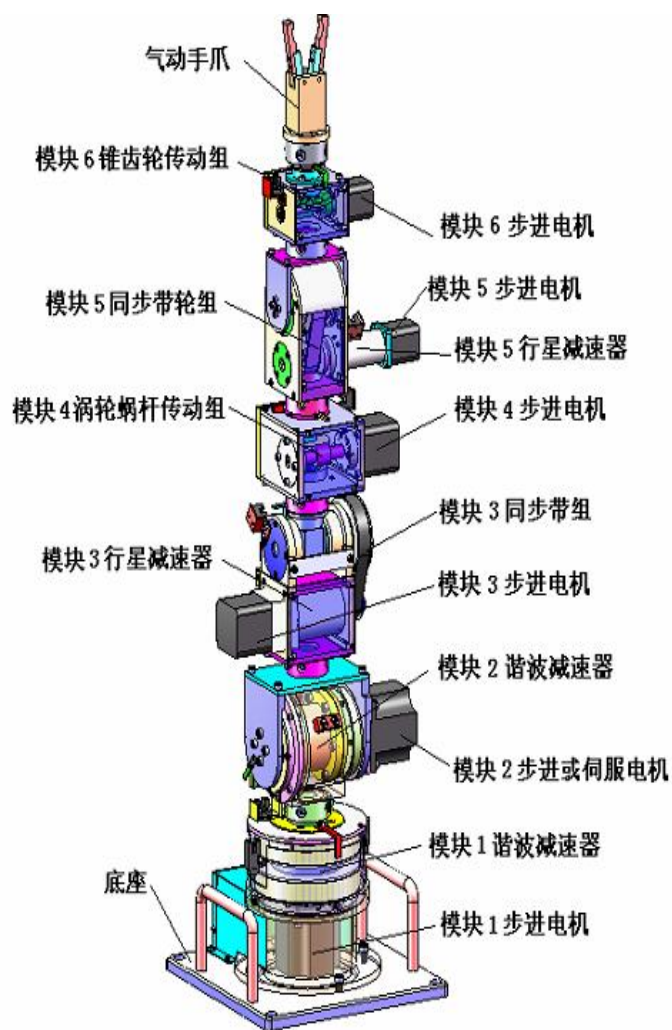


图2-1 机器人传动简图

1、同步齿型带传动

同步齿型带传动是通过带齿与轮齿的啮合传递运动和动力，如图2-2所示。与摩擦型带传动相比，同步带传动兼有带传动、链传动和齿轮传动的一些特点，与一般带传动相比具有以下特点：

- 1) 传动比准确，同步带传动是啮合传动，工作时无滑动；
- 2) 传动效率高，可达98%以上，节能效果明显；
- 3) 不需依靠摩擦传动，预紧张力小，对轴和轴承的作用力小，带轮直径小，所占空间小，重量轻，结构紧凑；
- 4) 传动平稳，动态特性良好，能吸振，噪音小；
- 5) 齿型带较薄，允许线速度高，可达50m/s；
- 6) 使用广泛，传递功率由几瓦至数千瓦，速比可达10左右；
- 7) 使用保养方便，不需要润滑，耐油、耐磨性和抗老化好，还能在高温、灰尘、水及腐蚀介质等恶劣环境中工作；
- 8) 安装要求较高，两带轮轴心线平行度要高，中心距要求严格；
- 9) 带和带轮的制造工艺复杂、成本高。尽管如此，同步带传动不失为一种十分经济的

传动装置，现已广泛用于要求精密定位的各种机械传动中。

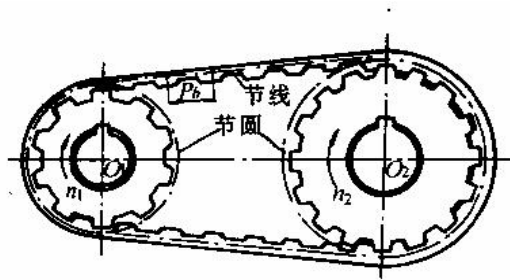


图 2-2 同步齿型带传动结构

2、谐波齿轮传动

谐波齿轮传动由三个基本构件组成：

- 1) 谐波发生器（简称波发生器）——是由凸轮（通常为椭圆形）及薄壁轴承组成，随着凸轮转动，薄壁轴承的外环作椭圆形变形运动（弹性范围内）；
- 2) 刚轮——是刚性的内齿轮；
- 3) 柔轮——是薄壳形元件，具有弹性的外齿轮。

以上三个构件可以任意固定一个，成为减速传动及增速传动；或者发生器、刚轮主动，柔轮从动，成为差动机构（即转动的代数合成）。

谐波传动工作过程如下图2-3所示，当波发生器为主动时，凸轮在柔轮内转动，使长轴附近柔轮及薄壁轴承发生变形（可控的弹性变形），这时柔轮的齿就在变形的过程中进入（啮合）或退出（啮出）刚轮的齿间，在波发生器的长轴处处于完全啮合，而短轴方向的齿就处于完全的脱开状态。

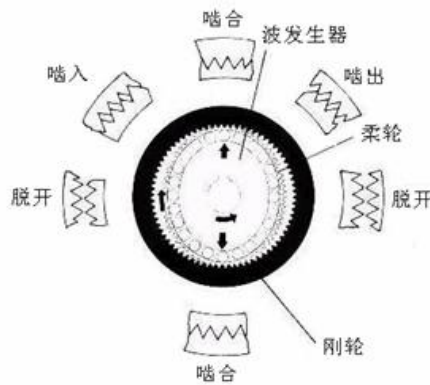


图 2-3 谐波齿轮传动工作过程

波发生器通常为椭圆形的凸轮，凸轮位于薄壁轴承内。薄壁轴承装在柔轮内，此时柔轮由原来的圆形而变成椭圆形，椭圆长轴两端的柔轮与之配合的刚轮齿则处于完全啮合状态，即柔轮的外齿与刚轮的内齿沿齿高啮合。这是啮合区，一般有 30%左右的齿处在啮合状态；椭圆短轴两端的柔轮齿与刚轮齿处于完全脱开状态，简称脱开；在波发生器长轴和短轴之间的柔轮齿，沿柔轮周长的不同区段内，有的逐渐退出刚轮齿间，处在半脱开状态，称之为啮出；有的逐渐进入刚轮齿间，处在半啮合状态，称之为啮入。

波发生器在柔轮内转动时，迫使柔轮产生连续的弹性变形，此时波发生器的连续转动，就使柔轮齿的啮入—啮合—啮出—脱开这四种状态循环往复不断地改变各自原来的啮合状

态。这种现象称之为错齿运动，正是这一错齿运动，使减速器可以将输入的高速转动变为输出的低速转动。

对于双波发生器的谐波齿轮传动，当波发生器顺时针转动 $1/8$ 周时，柔轮齿与刚轮齿就由原来的啮入状态而成啮合状态，而原来脱开状态就成为啮入状态。同样道理，啮出变为脱开，啮合变为啮出，这样柔轮相对刚轮转动（角位移）了 $1/4$ 齿；同理，波发生器再转动 $1/8$ 周时，重复上述过程，这时柔轮位移一个齿距。依此类推，波发生器相对刚轮转动一周时，柔轮相对刚轮的位移为两个齿距。

柔轮齿和刚轮齿在节圆处啮合过程就如同两个纯滚动（无滑动）的圆环一样，两者在任何瞬间，在节圆上转过的弧长必须相等。由于柔轮比刚轮在节圆周长上少了两个齿距，所以柔轮在啮合过程中，就必须相对刚轮转过两个齿距的角位移，这个角位移正是减速器输出轴的转动，从而实现了减速的目的。

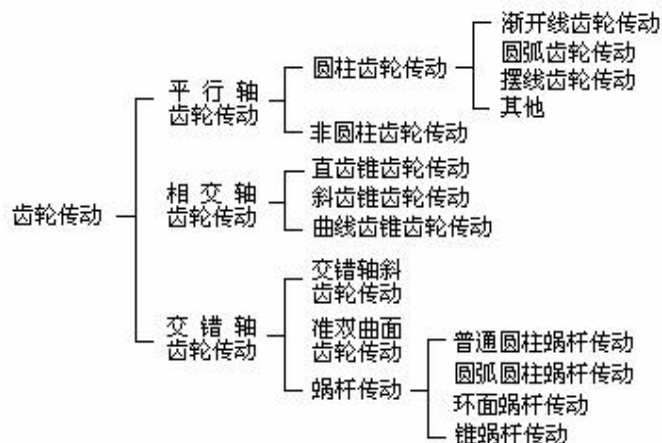
波发生器的连续转动，迫使柔轮上的一点不断的改变位置，这时在柔轮的节圆的任一点，随着波发生器角位移的过程，形成一个上下左右相对称的和谐波，故称之为：“谐波”。

谐波齿轮传动的特点：

- 1) 传动比大、单级传动比为 $70\sim 320$ ；
- 2) 侧隙小。由于其啮合原理不同于一般齿轮传动，侧隙很小，甚至可以实现无侧隙传动；
- 3) 精度高。同时啮合齿数达到总齿数的 20% 左右，在相 180° 的两个对称方向上同时啮合，因此误差被平均化，从而达到高运动精度；
- 4) 零件数少、安装方便。仅有三个基本部件，且输入轴与输出轴为同轴线，因此结构简单，安装方便；
- 5) 体积小、重量轻。与一般减速器比较，输出力矩相同时，通常其体积可减小 $2/3$ ，重量可减小 $1/2$ ；
- 6) 承载能力大。因同时啮合齿数多，柔轮又采用了高疲劳强度的特殊钢材，从而获得了高的承载能力；
- 7) 效率高。在齿的啮合部分滑移量极小，摩擦损失少。即使在高速比情况下，还能维持高的效率；
- 8) 运转平稳。周向速度低，又实现了力的平衡，故噪声低、振动小；
- 9) 可向密闭空间传递运动。利用其柔性的特点，可向密闭空间传递运动。这一点是其它任何机械传动无法实现的。

3、齿轮传动

齿轮传动的分类：



齿轮传动的特点：

- 1) 瞬时传动比恒定。非圆齿轮传动的瞬时传动比又能按需要的变化规律设计；
- 2) 传动比范围大，可用于减速或增速；
- 3) 速度（指节圆圆周速度）和传动功率的范围大，可用于高速（ $v > 40\text{m/s}$ ）、中速和低速（ $v < 25\text{m/s}$ ）的传动；功率可从小于1W到105Kw；
- 4) 传动效率高，一对高精度的渐开线圆柱齿轮，效率可达99%以上；
- 5) 结构紧凑，适用于近距离传动；
- 6) 制造成本较高，某些具有特殊齿形或精度很高的齿轮，因需要专用或高精度的机床、刀具和量仪等，故制造工艺复杂，成本高；
- 7) 精度不高的齿轮，传动时噪声、振动和冲击大，污染环境；
- 8) 无过载保护作用。

2.4 实验步骤

- 1、 教师介绍机器人机械系统中原动部分、传动部分以及执行部分的位置及在机器人系统中的工作状况；
- 2、 接通控制柜电源，按下“启动”按钮；
- 3、 启动计算机，运行机器人软件；
- 4、 在“模块组合方式”界面中选择6个模块；
- 5、 点击主界面“机器人复位”按钮，机器人进行回零运动。观察机器人的运动，六个模块全部运动完成后，机器人处于零点位置；
- 6、 点击主界面“模块运动”按钮，出现如图2-4所示界面；



图2-4 模块运动界面

7、选择“模块1”，模块方向选择“正向”，启动方式选择“加速”，运动方式选择“位置模式”，运行速度取默认值，目标位置取30度，点击“启动”按钮，观察机器人模块1运动情况；

8、选择“模块1”，模块方向选择“反向”，启动方式选择“加速”，运动方式选择“速度模式”，运行速度取默认值，点击“启动”按钮，观察机器人模块1运动情况，然后点击“立即停止”按钮；

9、选择“模块2”，模块方向选择“正向”，启动方式选择“加速”，运动方式选择“位置模式”，运行速度取默认值，目标位置取-60度，点击“启动”按钮，观察机器人模块2运动情况；

10、选择“模块2”，模块方向选择“反向”，启动方式选择“加速”，运动方式选择“速度模式”，运行速度取默认值，点击“启动”按钮，观察机器人模块2运动情况，然后点击“立即停止”按钮；

11、选择“模块3”，模块方向选择“正向”，启动方式选择“加速”，运动方式选择“位置模式”，运行速度取默认值，目标位置取30度，点击“启动”按钮，观察机器人模块3运动情况；

12、选择“模块3”，模块方向选择“反向”，启动方式选择“加速”，运动方式选择“速度模式”，运行速度取默认值，点击“启动”按钮，观察机器人模块3运动情况，然后点击“立即停止”按钮；

13、选择“模块4”，模块方向选择“正向”，启动方式选择“加速”，运动方式选择“位置模式”，运行速度取默认值，目标位置取30度，点击“启动”按钮，观察机器人模块4运动情况；

14、选择“模块4”，模块方向选择“反向”，启动方式选择“加速”，运动方式选择“速度模式”，运行速度取默认值，点击“启动”按钮，观察机器人模块4运动情况，然后点击“立即停止”按钮；

15、选择“模块5”，模块方向选择“正向”，启动方式选择“加速”，运动方式选择“位置模式”，运行速度取默认值，目标位置取30度，点击“启动”按钮，观察机器人模块

5运动情况；

16、选择“模块5”，模块方向选择“反向”，启动方式选择“加速”，运动方式选择“速度模式”，运行速度取默认值，点击“启动”按钮，观察机器人模块5运动情况，然后点击“立即停止”按钮；

17、选择“模块6”，模块方向选择“正向”，启动方式选择“加速”，运动方式选择“位置模式”，运行速度取默认值，目标位置取30度，点击“启动”按钮，观察机器人模块6运动情况；

18、选择“模块6”，模块方向选择“反向”，启动方式选择“加速”，运动方式选择“速度模式”，运行速度取默认值，点击“启动”按钮，观察机器人模块6运动情况，然后点击“立即停止”按钮；

19、点击“退出”按钮，退出模块运动界面；

20、点击主界面“机器人复位”按钮，使机器人回到零点位置；

21、按下控制柜上的“停止”按钮，断开控制柜电源；

22、退出机器人软件，关闭计算机。

2.5 注意事项

- 1、 在老师的指导下进行实验；
- 2、 机器人通电后，身体的任何部位不要进入机器人运动可达范围之内；
- 3、 机器人运动不正常时，及时按下控制柜的急停开关。

实验2 机器人的控制系统

3.1 实验目的

- 1、了解机器人控制系统的组成；
- 2、熟悉机器人控制系统各部分的原理及作用。

3.2 实验设备

- 1、模块化机器人一台；
- 2、模块化机器人控制柜一台；

3.3 实验原理 模块化机器人控制系统主要由计算机、步进（或伺服）电机驱动器及步进（或伺服）电机、电源、控制柜、操作电路等几部分组成。

计算机内安装有运动控制卡和机器人控制软件。

运动控制卡由高性能DSP处理器、CPLD可编程器件及伺服电机接口器件等组成，用于实现伺服电机的位置、速度、加速度的控制及多个伺服电机的多轴协调控制。其主要功能为：

S形、梯形自动加减速曲线规划；输出控制脉冲到电机驱动器使电机运动；具有编码器位置反馈信号接口，监控电机实际运行状态；能利用零位开关、减速开关及编码器Z相信号实现高速高精度原点返回操作；具有伺服驱动器报警信号ALM等伺服驱动器专用信号接口。

步进（或伺服）电机驱动器用来把运动控制卡提供的低功率的脉冲信号转换为能驱动电机的大功率电信号，以驱动电机带动负载旋转。

电源部分用来给控制柜提供各驱动器的控制用电源，包括相关保护、滤波器件等。

操作电路提供电气系统所需的电源开、关顺序操作及保护、报警、状态指示等控制操作。

下面对本系统中所使用的步进电机及伺服电机系统作以简要介绍。

1、 步进电机控制系统示意图如图3-1所示。

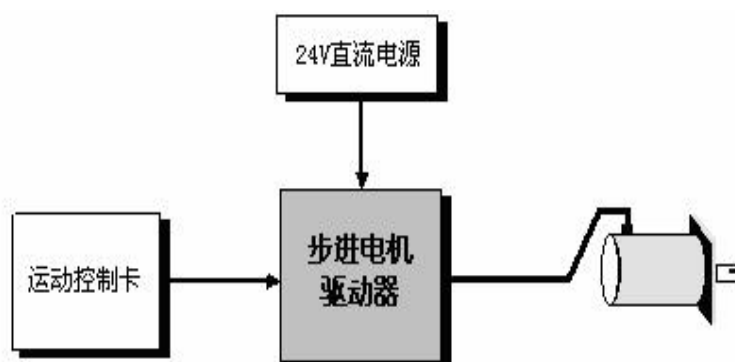


图3-1 步进电机控制系统

其主要的控制信号有：

1) 步进脉冲信号 CP：这是最重要的一路信号，控制卡发出此信号用来控制步进电机旋转，驱动器每接受一个脉冲信号CP，就驱动步进电机旋转一个步距角，CP的频率和步进电机的转速成正比，CP的脉冲个数决定了步进电机旋转的角度。这样，控制系统通过脉冲信号CP就可以达到控制电机位置和速度的目的。

2) 方向电平信号 DIR：控制卡发出此信号用来控制电机的旋转方向。比如说，此信号为高电平时电机为顺时针旋转，此信号为低电平时电机则为反方向逆时针旋转。

3) 使能信号 EN：此信号在不连接时默认为有效状态，这时驱动器正常工作。当此信号回路导通时，驱动器停止工作，此信号为选用信号。

2、 机器人使用松下MINAS-A4系列伺服驱动器，具体使用说明参照伺服驱动器使用说明书，用户可根据需要自行选择阅读。

其主要控制信号有：

1) 脉冲信号 PULS：此信号由运动控制卡发出，驱动器接收此信号驱动伺服电机旋转；

2) 方向信号SIGN：此信号由运动控制卡发出，用来控制电机旋转方向；

3) 原点信号 ORG：由零位开关发出。ORG信号可单独用于寻零操作，ORG信号也可与编码器Z相信号配合得到精度更高的寻零操作；

4) 限位信号 EL：由限位开关发出。+EL为电机运行正方向的限位信号，-EL为电机运行负方向的限位信号，当与电机运行相同方向的EL信号为“ON”状态时，控制卡立即停止发出脉冲，电机自动停止运行。这个信号被锁存，即使EL又恢复成“OFF”状态，控制卡也不

会再发出脉冲，可由指令发出相反方向运动的脉冲链使电机反向运动，解除这一锁存状态：

5) 驱动器报警信号ALM：由驱动器发出。当驱动器发生故障时，报警信号ALM为“ON”状态，控制卡接收到这个信号后立即停止发出脉冲，电机自动停止运行；

6) 伺服ON信号：由运动控制卡发出，伺服驱动器接收到此信号后，即处于伺服状态；

7) 编码器信号：编码器输出A、B、Z相信号送到伺服驱动器，经伺服驱动器分频后发送到运动控制卡，用来反馈伺服电机实际运行位置及实现闭环控制。

3.4 实验步骤

1、介绍控制柜各组成部分（教师讲解）

结合实验原理，介绍模块化机器人的控制系统的组成，电控系统主要由电机及驱动器、断路器、开关电源、按钮指示灯等其他附件组成。控制柜操作面板布局图如图3-2所示，控制柜电缆插座布局图如图3-3所示，电气安装板布局图如图3-4所示，。电气元件具体说明如下：

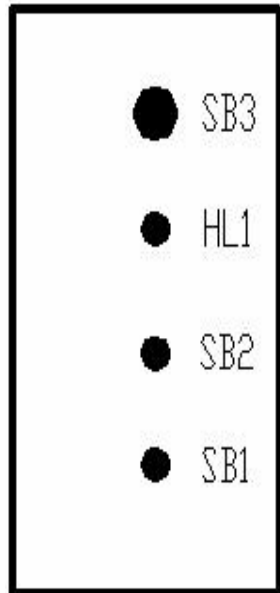


图 3-2 控制柜操作面板布局图

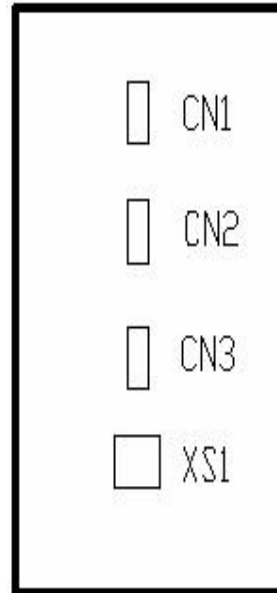


图 3-3 控制柜电缆插座布局图

HL1：报警指示灯；

SB1：启动按钮；

SB2：停止按钮；

SB3：急停按钮；

CN1~CN3：连接器，位于控制柜右侧，用来连接控制柜和机器人之间的电缆；

XS1：电源插座；

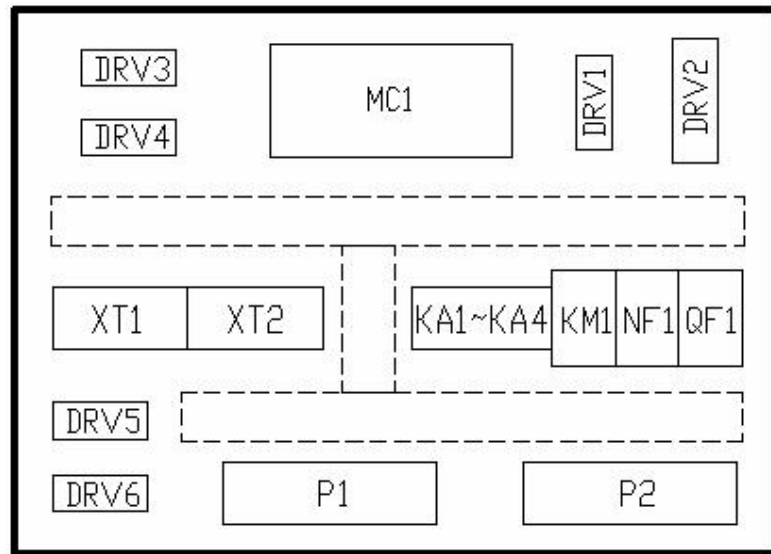


图3-4 电气安装板布局图

DRV1~DRV6: 驱动器;

P1、开关电源, 为嵌入式运动控制器提供DC24V电源;

P2: 开关电源, 为电机驱动器提供DC24V电源;

MC1: 嵌入式运动控制器;

XT1、XT2: 接线端子排;

QF1: 断路器, 控制系统出现过电流时, 自动切断电源回路, 保护设备及人员安全;

KM1: 交流接触器, 切断和接通电源主回路;

NF1: 滤波器, 滤除交流电源产生的噪声;

KA1~KA4: 直流继电器;

2、控制柜的使用

- 1) 接通控制柜电源;
- 2) 按下“启动”按钮;
- 3) 使用结束后, 按下“停止”按钮;
- 4) 断开控制柜电源。

3.5 注意事项

- 1、 在老师的指导下进行实验;
- 2、 机器人通电后, 身体的任何部位不要进入机器人运动可达范围之内;
- 3、 机器人运动不正常时, 及时按下控制柜的急停开关。