

高等教育自学考试机械制造及自动化专业

# 自动化制造系统实验指导书

准考证号\_\_\_\_\_

姓 名\_\_\_\_\_

总评成绩\_\_\_\_\_

指导教师\_\_\_\_\_

完成日期\_\_\_\_\_

上 海 大 学

2011 年 9 月



# 目 录

概述

实验 1 机器人的机械系统

1.1 实验目的

1.2 实验设备

1.3 实验原理

1.4 实验步骤

1.5 注意事项

实验 2 机器人坐标系的建立

2.1 实验目的

2.2 实验设备

2.3 实验原理

2.4 实验步骤

2.5 思考题 13

实验 3 机器人正运动学分析

3.1 实验目的

3.2 实验设备

3.3 实验原理

3.4 实验步骤

3.5 思考题

## 概述

机器人实验系统主要是由模块型 6 自由度关节型机器人构成，为一教学实验专用机器人。该机器人采用串联式开链结构，即机器人各连杆由旋转关节或移动关节串联连接，如图所示。各关节轴线相互平行或垂直。连杆的一端装在固定的支座上（底座），另一端处于自由状态，可安装各种工具以实现机器人作业。关节的作用是使相互连接的两个连杆产生相对运动。关节的传动采用模块化结构，由锥齿轮、同步齿型带和谐波减速器等多种传动结构配合实现。

机器人的每一模块采用透明式封装，可以直观的看到内部传动结构，运行情况。模块内部传动结构完全体现工业机器人特点并微缩，而且结构多样化，满足教学要求。

机器人各关节采用伺服电机和步进电机混合驱动，关键模块采用了工业上目前普遍应用的谐波减速器，标准模块采用步进电机驱动，可以根据用户需要将关键模块更换为伺服电机驱动。机器人的控制系统采用嵌入式 PC-104 卡+运动控制卡+电机驱动器的基本结构。通过 Windows 环境下的软件编程平台和运动控制卡可以实现对机器人的控制，使机器人能够在工作空间内任意位置精确定位。

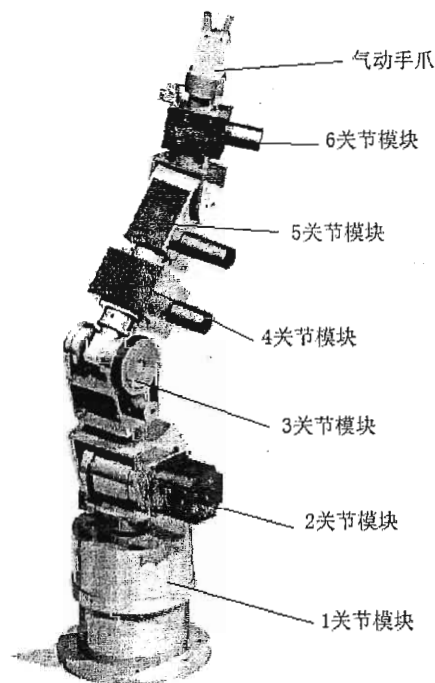


图 1 机械人简图

# 实验 1. 机器人的机械系统

## 1.1 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) 掌握机器人单轴运动的方法。

## 1.2 实验设备

机器人一台; 机器人控制柜一台;

## 1.3 实验原理

机器人由六个基本模块组成, 按照机器人关节区分, 可分为 1 关节模块~6 关节模块, 模块从 1 到 6 关节逐节组合。每一模块单独可以控制运行, 模块本身末端有旋转运动、回转运动两种形式, 六个模块组合之后构成类似工业串联关节机器人形式。

机器人模块的接口采用弯板连接各部分, 某关节模块只能在下一级关节模块之上安装。即 3 关节模块只能向上接 4~6 关节模块, 而不能向上接 2 关节模块。多台模块化机器人之中, 某关节模块可以互换。模块本身安装有光电传感器限位开关, 用以固定行程和角度。整体结构考虑到拆卸和组装方便, 设计兼顾尺寸公差要求。

总体模块化机器人高度尺寸 W 为 740 毫米 (包括气动手爪) 左右, 全部组合后六自由度回转半径在 550 毫米左右。组合后末端负载在 0.5 公斤内。整体模块框体采用铝合金材料, 轻便美观。

机器人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。机器人的传动简图如图所示。

1. I 关节传动链主要由或步进电机、减速器构成。
2. II 关节传动链主要由伺服电机、减速器构成。
3. III 关节传动链主要由步进电机、同步带、减速器构成。
4. IV 关节传动链主要由步进电机、减速器构成。
5. V 关节传动链主要由步进电机、同步带、减速器构成。
6. VI 关节传动链主要由步进电机、减速器构成。
7. 在机器人末端还有一个气动夹持器。

原动部件包括步进电机和伺服电机两大类, 关节 I 采用步进电机驱动方式、关节 II 采用伺服电机驱动方式; 关节 III、IV、V、VI 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、谐波减速传动等传动方式。执行部件采用了气动手爪机构, 以完成抓取作业。

## 1.4 实验步骤

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态;

启动计算机, 运行机器人软件;

接通控制柜电源, 按下“启动”按钮

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, 六个关节全部运动完成后, 机器人处于零点位置;

点击主界面“关节运动”按钮, 出现如图 2-1 所示界面;

选择“关节 I”, 关节方向选择“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-120 度, 点击“启动”按钮, 观察机器人第 I 关节运动情况;

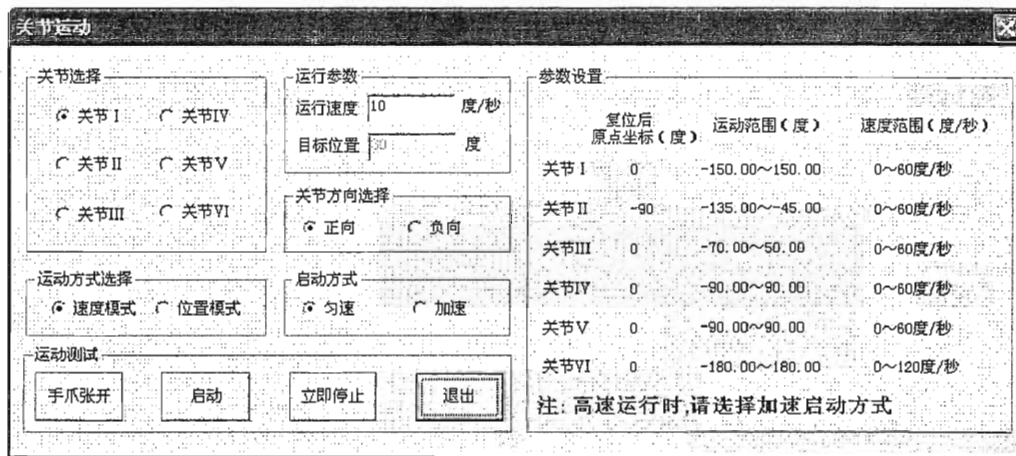


图 2-1 关节运动界面

选择“关节 I”，关节方向选择“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，观察机器人第 I 关节运动情况，然后点击“立即停止”按钮；

选择“关节 II”，关节方向选择“正向”，启动方式选择“匀速”，运动方式选择“位置模式”，运行速度取默认值，目标位置取-120 度，点击“启动”按钮，观察机器人第 II 关节运动情况；

选择“关节 II”，关节方向选择“反向”，启动方式选择“匀速”，运动方式选择“速度模式”，运行速度取默认值，点击“启动”按钮,观察机器人第 II 关节运动情况，然后点击“立即停止”按钮；

选择“关节 III”，关节方向选择“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,观察机器人第 III 关节运动情况；

选择“关节 III”，关节方向选择“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”按钮观察机器人第 III 关节运动情况，然后点击“立即停止”按钮；

选择“关节 IV”，关节方向选择“正向”，启动方式选择“匀速”,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,观察机器人第 IV 关节运动情况；

选择“关节 IV”，关节方向选择“反向”，启动方式选择“匀速”，运动方式选择“速度模式”，运行速度取默认值，点击“启动”按钮观察机器人第 IV 关节运动情况，然后点击“立即停止”按钮；

选择“关节 V”，关节方向选择“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,观察机器人第 V 关节运动情况；

选择“关节 V”，关节方向选择“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”按钮观察机器人第 V 关节运动情况，然后点击“减速停止”按钮；

选择“关节 VI”，关节方向选择“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,观察机器人第 VI 关节运动情况；

选择“关节 VI”，关节方向选择“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”按钮观察机器人第 VI 关节运动情况，然后点击“减速停止”按钮；

点击“退出”按钮，退出关节运动界面；  
点击“机器人复位”按钮，使机器人回到零点位置；  
按下控制柜上的“停止”按钮，断开控制柜电源；  
退出机器人软件，关闭计算机。

#### 1.5 注意事项

实验前确保机器人各电缆正确连接；  
在老师的指导下进行实验；  
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；  
机器人运动不正常时，及时按下控制柜的急停开关；  
系统启动顺序是先启动计算机和软件，然后机器人通电，断电时先断开机器人电源，再关闭软件和计算机。否则可能引起机器人误动作，造成人身伤害和设备损坏。

## 实验2 机器人坐标系的建立

### 2.1 实验目的

- (1) 了解机器人建立坐标系的意义;
- (2) 了解机器人坐标系的类型;
- (3) 掌握用 D-H 方法建立机器人坐标系的步骤。

### 2.2 实验设备

RBT-6T/S01S 机器人一台;  
RBT-6T/S01S 机器人控制柜一台;  
装有运动控制卡和控制软件的计算机一台。

### 2.3 实验原理

机器人通常是由一系列连杆和相应的运动副组合而成的空间开式链, 实现复杂的运动, 完成规定的操作。因此, 机器人运动学描述的第一步, 自然是描述这些连杆之间以及它们和操作对象(工件或工具)之间的相对运动关系。假定这些连杆和运动副都是刚性的, 描述刚体的位置和姿态(简称位姿)的方法是这样的: 首先规定一个直角坐标系, 相对于该坐标系, 点的位置可以用 3 维列向量表示; 刚体的方位可用  $3 \times 3$  的旋转矩阵来表示, 而  $4 \times 4$  的齐次变换矩阵则可将刚体位置和姿态(位姿)的描述统一起来。

机器人的每个关节坐标系的建立可参照以下的三原则:

- (1)  $Z_{n-1}$  轴沿着第  $n$  个关节的运动轴;
- (2)  $X_n$  轴垂直于  $Z_{n-1}$  轴并指向离开  $Z_{n-1}$  轴的方向;
- (3)  $Y_n$  轴的方向按右手定则确定。

机器人坐标系建立的方法常用的是 D-H 方法, 这种方法严格定义了每个关节的坐标系, 并对连杆和关节定义了 4 个参数, 如图 2-1。

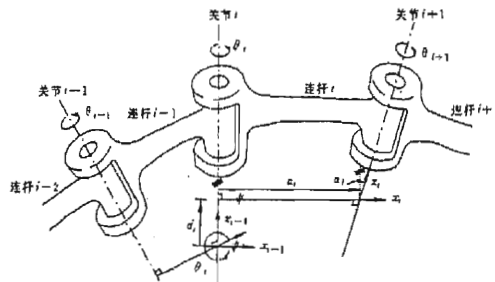


图 2-1 转动关节连杆四参数示意图

机器人机械手是由一系列连接在一起的连杆(杆件)构成的。需要用两个参数来描述一个连杆, 即公共法线距离  $a_i$  和垂直于  $a_i$  所在平面内两轴的夹角  $\alpha_i$ ; 需要另外两个参数来表示相邻两杆的关系, 即两连杆的相对位置  $d_i$  和两连杆法线的夹角  $\theta_i$ 。

除第一个和最后一个连杆外, 每个连杆两端的轴线各有一条法线, 分别为前、后相邻连杆的公共法线。这两法线间的距离即为  $d_i$ 。我们称  $a_i$  为连杆长度,  $\alpha_i$  为连杆扭角,  $d_i$  为两连杆距离,  $\theta_i$  为两连杆夹角。

机器人机械手上坐标系的配置取决于机械手连杆连接的类型。有两种连接——转动关节和棱柱联轴节。对于转动关节,  $\theta_i$  为关节变量。连杆  $i$  的坐标系原点位于关节  $i$  和  $i+1$  的公共法线与关节  $i+1$  轴线的交点上。如果两相邻连杆的轴线相交于一点, 那么原点就在这一交点上。如果两轴线互相平行, 那么就选择原点使对下一连杆(其坐标原点已确定)的距离



$d_{i+1}$  为零。连杆  $i$  的  $z$  轴与关节  $i+1$  的轴线在一直线上，而  $x$  轴则在关节  $i$  和  $i+1$  的公共法线上，其方向从  $i$  指向  $i+1$ ，当两关节轴线相交时， $x$  轴的方向与两矢量的交积  $Z_{i-1} \times Z_i$  平行或反向平行， $x$  轴的方向总是沿着公共法线从转轴  $n$  指向  $i+1$ 。当两轴  $x_{i-1}$  和  $x_i$  平行且同向时，第  $i$  个转动关节的  $\theta_i$  为零。

一旦对全部连杆规定坐标系之后，我们就能够按照下列顺序由两个旋转和两个平移来建立相邻两连杆  $i-1$  与  $i$  之间的相对关系。

绕  $Z_{i-1}$  轴旋转  $\theta_i$  角，使  $x_{i-1}$  轴转到与  $x_i$  同一平面内。

沿  $Z_{i-1}$  轴平移一距离  $d_i$ ，把  $x_{i-1}$  移到与  $x_i$  同一直线上。

沿  $x_i$  轴平移距离  $a_{i-1}$ ，把连杆  $i-1$  的坐标系移到使其原点与连杆  $n$  的坐标系原点重合的地方。

绕  $x_{i-1}$  轴旋转  $\alpha_{i-1}$  角，使  $Z_{i-1}$  转到与  $Z_i$  同一直线上。

这种关系可由表示连杆  $i$  对连杆  $i-1$  相对位置的四个齐次变换来描述，并叫做  $A_i$  矩阵。此关系式为

$$A_i = Rot(z, \theta_i) Trans(0, 0, d_i) Trans(a_i, 0, 0) Rot(x, \alpha_i) \quad (\text{式 2-1})$$

展开上式可得

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i c\alpha_{i-1} & s\theta_i s\alpha_{i-1} & a_{i-1} c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -c\theta_i s\alpha_{i-1} & a_{i-1} s\theta_i \\ 0 & s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{式 2-2})$$

当机械手各连杆的坐标系被规定之后，就能够列出各连杆的常量参数。对于跟在旋转关节  $i$  后的连杆，这些参数为  $d_i$ ， $a_{i-1}$  和  $\alpha_{i-1}$ 。对于跟在棱柱联轴节  $i$  后的连杆来说，这些参数为  $\theta_i$  和  $\alpha_{i-1}$ 。然后， $\alpha$  角的正弦值和余弦值也可计算出来。这样， $A$  矩阵就成为关节变量  $\theta$  的函数（对于旋转关节）或变量  $d$  的函数（对于棱柱联轴节）。一旦求得这些数据之后，就能够确定六个  $A_i$  变换矩阵的值。

## 2.4 实验步骤

参照 RBT 系列机器人的运动机构简图（图 5-2 所示），根据 D-H 方法建立机器人的笛卡尔坐标系，并且标出每个关节坐标系的原点；

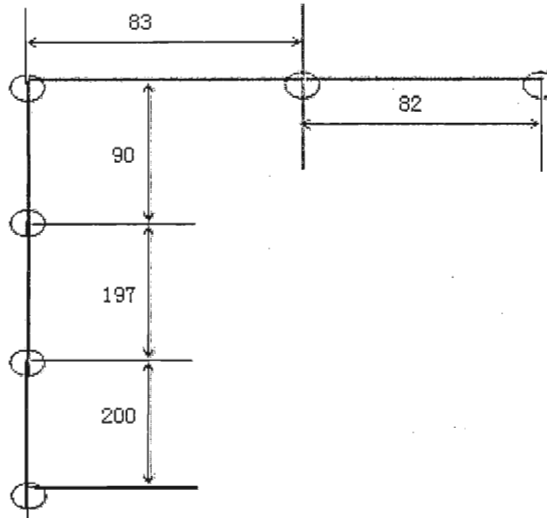


图 2-2 RBT 系列机器人运动机构简图

建好坐标系后填写表 5-1 的各个变量的值；

表 2-1 RBT 系列机器人的参数

杆件	变量为转角 $\theta_n$	偏距 $d_n(\text{mm})$	扭角 $\alpha_n$	杆长 $a_n(\text{mm})$
1				
2				
3				
4				
5				
6				

根据表 2-1 的各个变量的值以及各杆件之间关系，写出相应的  ${}^{i-1}A_i$  矩阵；

根据 A 矩阵和 T 矩阵之间的关系  ${}^0T_6 = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 {}^3A_4 {}^4A_5 {}^5A_6$ ，写出 T 矩阵；

参考答案：

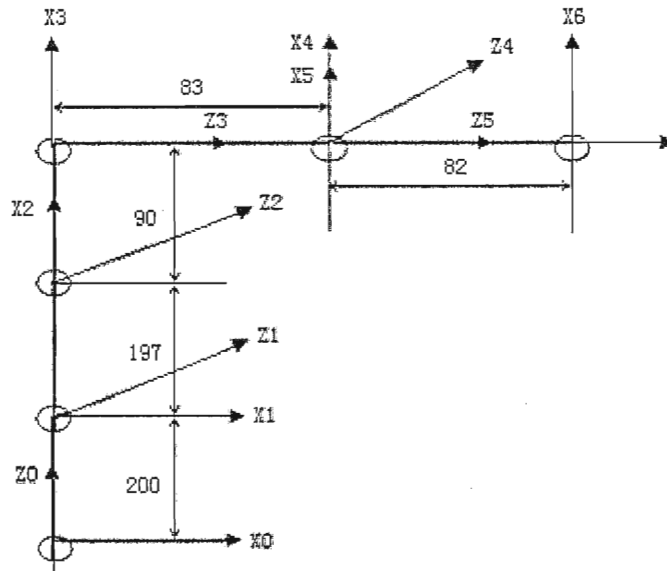


图 2-3 D-H 坐标系的建立

表 2-2 RBT 系列机器人的参数

杆件	变量为转角 $\theta_n$	偏距 $d_n(\text{mm})$	扭角 $\alpha_n$	杆长 $a_n(\text{mm})$
1	$\theta_1(0)$	200	$-90^\circ$	0
2	$\theta_2(-90^\circ)$	0	0	197
3	$\theta_3(0)$	0	$-90^\circ$	90
4	$\theta_4(0)$	83	$90^\circ$	0
5	$\theta_5(0)$	0	$-90^\circ$	0
6	$\theta_6(0)$	82	0	0

规定逆时针为正，顺时针为负。

$$C^i = \cos \theta_i \quad S^i = \sin \theta_i$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & a_2 C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & a_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} C_3 & 0 & -S_3 & a_3 C_3 \\ S_3 & 0 & C_3 & a_3 S_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^3A_4 = \begin{bmatrix} C_4 & 0 & S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & -C_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^4A^5 = \begin{bmatrix} C_5 & 0 & -S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & C_5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^5A^6 = \begin{bmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T1=0A11A22A3 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} C_2 & 0 & -S_2 & a_2C_2 \\ S_2 & 0 & C_2 & a_2S_2 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} *$$

$$\begin{bmatrix} C_3 & 0 & -S_3 & a_3C_3 \\ S_3 & 0 & C_3 & a_3S_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_{x1} & o_{x1} & a_{x1} & p_{x1} \\ n_{y1} & o_{y1} & a_{y1} & p_{y1} \\ n_{z1} & o_{z1} & a_{z1} & p_{z1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$n_{x1} = c_1c_2c_3 - c_1s_2s_3$$

$$n_{y1} = s_1c_2c_3 - s_1s_2s_3$$

$$n_{z1} = -s_2c_3 - c_2s_3$$

$$o_{x1} = s_1$$

$$o_{y1} = -c_1$$

$$o_{z1} = 0$$

$$a_{x1} = -c_1c_2s_3 - c_1s_2c_3$$

$$a_{y1} = -s_1c_2s_3 - s_1s_2c_3$$

$$a_{z1} = s_2s_3 - c_2c_3$$

$$p_{x1} = a_3c_1c_2c_3 - a_3c_1s_2s_3 + a_2c_1c_2$$

$$p_{y1} = a_3s_1c_2c_3 - a_3s_1s_2s_3 + a_2s_1c_2$$

$$p_{z1} = -a_3s_2c_3 - a_3c_2s_3 + d_1 - a_2s_2$$

$$T_2=3A44A55A6= \begin{bmatrix} C_4 & 0 & S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & -C_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} C_5 & 0 & -S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & C_5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} n_{x2} & o_{x2} & a_{x2} & p_{x2} \\ n_{y2} & o_{y2} & a_{y2} & p_{y2} \\ n_{z2} & o_{z2} & a_{z2} & p_{z2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$n_{x2} = c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6$$

$$n_{y2} = s_4 c_5 c_6 + c_4 s_6$$

$$n_{z2} = s_5 c_6$$

$$o_{x2} = -c_4 c_5 s_6 - s_4 c_6$$

$$o_{y2} = -s_4 c_5 s_6 + c_4 c_6$$

$$o_{z2} = -s_5 s_6$$

$$a_{x2} = -c_4 s_5$$

$$a_{y2} = -s_4 s_5$$

$$a_{z2} = c_5$$

$$p_{x2} = -d_6 c_4 s_5$$

$$p_{y2} = -d_6 s_4 s_5$$

$$p_{z2} = d_4 + d_6 c_5$$

$$T=T_1*T_2= \begin{bmatrix} n_{x1} & o_{x1} & a_{x1} & p_{x1} \\ n_{y1} & o_{y1} & a_{y1} & p_{y1} \\ n_{z1} & o_{z1} & a_{z1} & p_{z1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} n_{x2} & o_{x2} & a_{x2} & p_{x2} \\ n_{y2} & o_{y2} & a_{y2} & p_{y2} \\ n_{z2} & o_{z2} & a_{z2} & p_{z2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$n_x = (c_1 c_2 c_3 - c_1 s_2 s_3) * (c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) + s_1 * (s_4 c_5 c_6 + c_4 s_6) + (-c_1 c_2 s_3 - c_1 s_2 c_3) * s_5 c_6$$

$$n_y = (s_1 c_2 c_3 - s_1 s_2 s_3) * (c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) - c_1 * (s_4 c_5 c_6 + c_4 s_6) + (-s_1 c_2 s_3 - s_1 s_2 c_3) * s_5 c_6$$

$$n_z = (-s_2 c_3 - c_2 s_3) * (c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6) + (s_2 s_3 - c_2 c_3) * s_5 c_6$$

$$o_x = (c_1c_2c_3 - c_1s_2s_3) * (-c_4c_5s_6 - s_4c_6) + s_1 * (-s_4c_5s_6 + c_4c_6) - (-c_1c_2s_3 - c_1s_2s_3) * s_5s_6$$

$$o_y = (s_1c_2c_3 - s_1s_2s_3) * (-c_4c_5s_6 - s_4c_6) - c_1 * (-s_4c_5s_6 + c_4c_6) - (-s_1c_2s_3 - s_1s_2s_3) * s_5s_6$$

$$o_z = (-s_2c_3 - c_2s_3) * (-c_4c_5s_6 - s_4c_6) - (s_2s_3 - c_2c_3) * s_5s_6$$

$$a_x = -(c_1c_2c_3 - c_1s_2s_3) * c_4s_5 - s_1s_4s_5 + (-c_1c_2s_3 - c_1s_2c_3) * c_5$$

$$a_y = -(s_1c_2c_3 - s_1s_2s_3) * c_4s_5 + c_1s_4s_5 + (-s_1c_2s_3 - s_1s_2c_3) * c_5$$

$$a_z = -(-s_2c_3 - c_2s_3) * c_4s_5 + (s_2s_3 - c_2c_3) * c_5$$

$$p_x = -d_6 * (c_1c_2c_3 - c_1s_2s_3) * c_4s_5 - d_6s_1s_4s_5 + (-c_1c_2s_3 - c_1s_2c_3) * (d_4 + d_6c_5) + a_3c_1c_2c_3 - a_3c_1s_2s_3 + a_2c_1c_2 + a_1c_1$$

$$p_y = -d_6 * (s_1c_2c_3 - s_1s_2s_3) * c_4s_5 + d_6c_1s_4s_5 + (-s_1c_2s_3 - s_1s_2c_3) * (d_4 + d_6c_5) + a_3s_1c_2c_3 - a_3s_1s_2s_3 + a_2s_1c_2 + a_1s_1$$

$$p_z = -d_6 * (-s_2c_3 - c_2s_3) * c_4s_5 + d_1 + (s_2s_3 - c_2c_3) * (d_4 + d_6c_5) - a_3s_2c_3 - a_3c_2s_3 - a_2s_2$$

思考题

根据图 2-4 某 RBT 系列机器人运动机构简图，试着用 D-H 坐标法建立其运动学模型，并画出坐标系，答案见图 5-5。

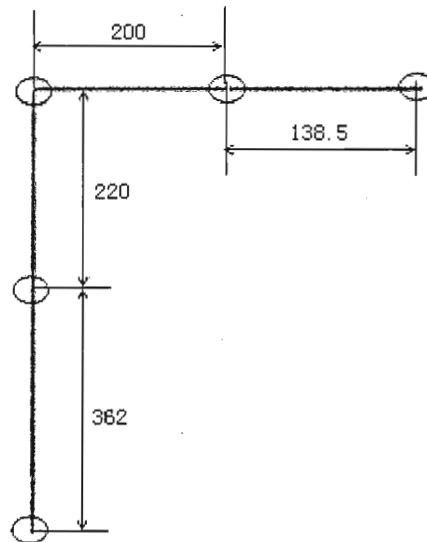


图 2-4 某 RBT 系列机器人运动机构简图

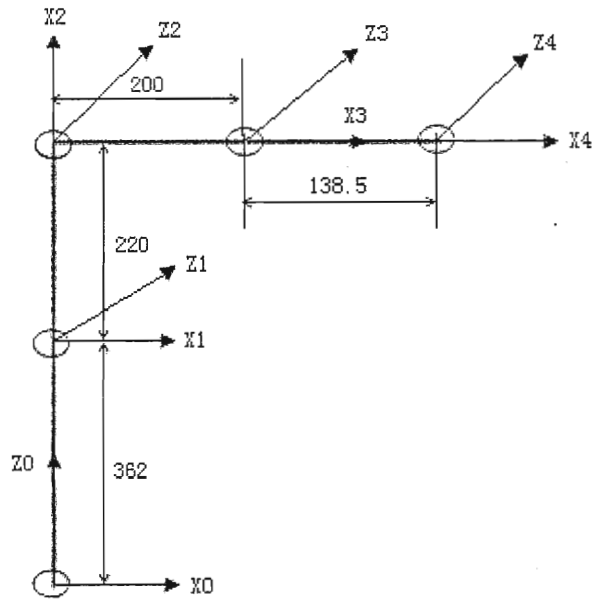


图 2-5 某 RBT 系列机器人 D-H 坐标系的建立

#### 注意事项

实验前确保机器人各电缆正确连接；

在老师的指导下进行实验；

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；

机器人运动不正常时，及时按下控制柜的急停开关；；

系统启动顺序是先启动计算机和软件，然后机器人通电，断电时先断开机器人电源，再关闭软件和计算机，否则可能引起机器人误动作，造成人身伤害和设备损坏。