

平行四杆机构在点焊机器人中的作用

汤修映¹ 李伟¹ 张铁中¹ 拓广忠²

(1. 中国农业大学工学院,北京 100083; 2. 华北电力科学研究院)

摘要 结合国产的 HT120 点焊机器人,分析了平行四杆机构对机器人可达工作空间的影响;对机器人平行四杆机构模型进行了详细的动力学分析。分析结果表明,平行四杆机构能改善点焊机器人的动力学特性和使用性能,但在实际应用中仅使用平行四杆机构来保持动平衡是不够的,还必须和其他平衡方式结合使用才能获得比较满意的效果。

关键词 平行四杆机构;点焊机器人;可达工作空间;动力学;动平衡

中图分类号 TP 241.2

文章编号 1007-4333(2003)04-0036-05

文献标识码 A

Effect of parallel four-bar mechanism on spotwelding robot

Tang Xiuying¹, Li Wei¹, Zhang Teizhong¹, Tuo Guangzhong²

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. North China Electric Power Research Institute, Beijing 100045, China)

Abstract Taking HT120 spotwelding robot made in China as an example, the effect of parallel four-bar mechanism on the reachable workspace of spotwelding robot and dynamic model of robot based the parallel four-bar mechanism were deeply analyzed. The analytical results showed that the dynamic and service performance of robot were improved by using the parallel four-bar mechanism. But only the parallel four-bar mechanism is not enough to balance in practice. So it is necessary to combine the parallel four-bar mechanism with other devices in order to keep a very good inertia balance.

Key words parallel four-bar mechanism; spotwelding robot; reachable workspace; dynamics; inertia balance

在装配汽车车体时,由于构件焊接精度,以及焊接速度 and 安全性方面的要求,有必要实现焊接过程的完全自动化。这就要求焊接机器人具有更优良的作业性能,如工作空间大、定位精度高、末端负荷大,以及安全可靠性好等^[1,2]。在焊接机器人的结构设计中,常常采用一类平行四杆机构来改善机器人的动态特性,由于机器人本身结构的复杂性,这类平行四杆机构到底有哪些优点却一直没有定论^[3]。笔者结合自己在工业机器人动力学领域所作的研究工作,针对国产 HT120 点焊机器人,给出了简化的点焊机器人结构模型,分析了带平行四杆机构的点焊机器人可达工作空间,并对平行四杆机构机器人模型进行了详细的动力学推导。

1 仅考虑平行四杆机构约束的机器人末端可达工作空间分析

HT120 点焊机器人总装图的三维模型采用 Pro/E 绘制而成(图 1),机构运动简图见图 2。其运动为

腰部(S 轴)——旋转;手腕(R 轴)——横摆;
大臂(L 轴)——倾动;手腕(B 轴)——俯仰;
小臂(U 轴)——俯仰;手腕(T 轴)——回转。

机器人采用了局部闭链结构,其小臂肘关节为被动关节,该关节的驱动电机位于腰座。机器人在运动过程中,当大臂(下臂)倾动时,不影响小臂(上臂)的姿态,大、小臂一起运动时,不影响手部固定法

收稿日期:2002-01-09

基金项目:国家 863 高技术“智能机器人”主题“工业机器人本体计算动力学分析和计算”子课题基金资助项目

作者简介:汤修映,讲师,博士研究生,主要研究方向为果蔬收获机器人系统设计和计算机虚拟仿真



图 1 点焊机器人模型图

Fig. 1 Model of spotwelding robot

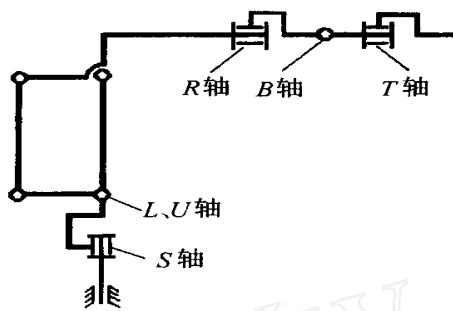


图 2 点焊机器人结构简图

Fig. 2 Structure of spotwelding robot

兰的姿态,即手部姿态不变。因此,在研究平行四杆机构对机器人运动特性的影响时,仅考虑 L 、 U 轴对机器人运动特性的影响,其结构简图见图 3,其中 l_1 、 l_2 、 l_3 和 $(l_1 + l_2)$ 分别为连杆、大臂、拉杆和小臂的长度。

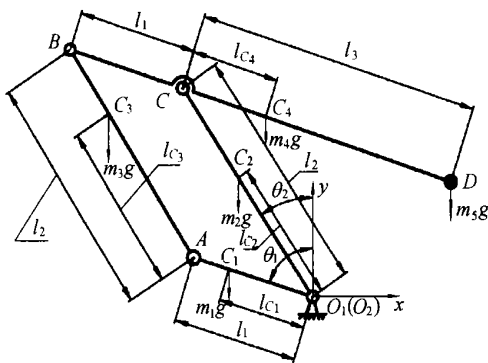
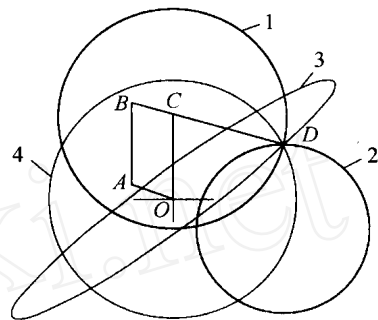


图 3 点焊机器人平行四杆机构简图

Fig. 3 Parallel four-bar mechanism of spotwelding robot

图 4 和图 5 为运用 ADAMS 分析软件得出的点焊机器人末端运动轨迹图,其中,图 4 为几种特定情况下的机器人末端点运动轨迹图。当 L 轴运动, U 轴不动时,则小臂 l_3 绕 C 点转动,形成图 4 中曲线 1 所示的圆弧轨迹;曲线 2 则表示当 U 轴运动, L

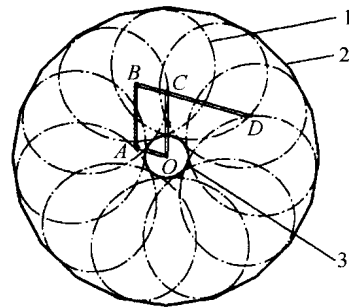
轴不动时末端点的运动轨迹;曲线 3 表示 L 轴、 U 轴运动速度相同、方向相反时末端点的运动轨迹;曲线 4 表示 L 轴、 U 轴运动速度和方向都相同时末端点的运动轨迹。图 5 中的曲线 1 表示其中任一种情况下末端点的运动轨迹。结合图 4 中的各种情形,进一步分析表明,在理想工作状态下,其可达空间为以 O 点为圆心的两个同心圆所形成的圆环,其中,最大同心圆半径为 $(l_3 + l_1) + (l_2 + l_1)$,最小同心圆半径为 $(l_3 + l_1) - (l_2 + l_1)$,分别为图 5 中的曲线 2 和 3。在实际工业应用中,由于受整个机器人结构的限制,其工作空间会根据实际情况在上述范围内会有所限制^[4~6]。



1. U 轴不动,小臂 l_3 绕 C 点转动;2. U 轴运动, L 轴不动;3. L 、 U 轴运动速度相同、方向相反;4. L 、 U 轴运动速度和方向相同

图 4 几种特定情况下的机器人末端点轨迹图

Fig. 4 Specific path of end-effector of spotwelding robot



1. 任意情况下末端点运动轨迹;2. 最大同心圆半径时末端点运动轨迹;3. 最小同心圆半径时末端点运动轨迹

图 5 机器人可达工作空间轨迹

Fig. 5 Reachable workspace of spotwelding robot

2 点焊机器人平行四杆机构模型动力学分析

运用第二类拉格朗日方程对该系统(图 3)进行动力学分析和推导^[6~8]。

2.1 系统的广义坐标

大臂的驱动电机经减速器与大臂相连,小臂的驱动电机经减速器带动连杆机构转动,连杆运动带动小臂拉杆使得小臂上下摆动,故本系统具有 2 个自由度。设连杆转动角度为 θ_1 (U 轴),大臂转动角度为 θ_2 (L 轴), θ_1 、 θ_2 即为广义坐标。

2.2 系统的动能和势能

1) 连杆的动能和势能。

$$T_1 = \frac{1}{2} m_1 (\dot{l}_{C_1})^2 + \frac{1}{2} I_1 \dot{\theta}_1^2 \quad (1)$$

$$U_1 = m_1 g l_{C_1} \cos \theta_1 \quad (2)$$

其中: T_1 和 U_1 分别为连杆的动能和势能; m_1 为连杆质量; l_{C_1} 为连杆质心到驱动关节处的距离; I_1 为连杆转动惯量。

2) 大臂的动能和势能。

$$T_2 = \frac{1}{2} m_2 (\dot{l}_{C_2})^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\theta}_2^2 \quad (3)$$

$$U_2 = m_2 g l_{C_2} \cos \theta_2 \quad (4)$$

其中: T_2 和 U_2 分别为大臂的动能和势能; m_2 为大臂质量; l_{C_2} 为大臂质心到驱动关节处的距离; I_2 为大臂转动惯量。

3) 拉杆的动能和势能。拉杆的运动与连杆和大臂的运动均有关。

当大臂静止时,拉杆随连杆的端点平动,所以拉杆质心速度 $v_{C_3} = l_1 \dot{\theta}_1$,在两个坐标方向的分量 $v_{C_3,x}$ 和 $v_{C_3,y}$ 分别为

$$v_{C_3,x} = -v_{C_3} \cos \theta_1 = -l_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1$$

$$v_{C_3,y} = -v_{C_3} \sin \theta_1 = -l_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1$$

其中: l_1 为连杆长度, $\dot{\theta}_1$ 为连杆转动角速度。

当连杆静止时,拉杆要随大臂转动,故拉杆质心速度为 $v_{C_3} = l_{C_3} \dot{\theta}_2$,在两个坐标方向的分量 $v_{C_3,x}$ 和 $v_{C_3,y}$ 分别为

$$v_{C_3,x} = -l_{C_3} \dot{\theta}_2 \cos \theta_2, v_{C_3,y} = -l_{C_3} \dot{\theta}_2 \sin \theta_2$$

其中: l_{C_3} 为拉杆质心到铰接点 A 的距离, $\dot{\theta}_2$ 为大臂转动角速度。拉杆具有的动能和势能分别为

$$T_3 = \frac{1}{2} m_3 [(l_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + l_{C_3} \dot{\theta}_2 \cos \theta_2)^2 +$$

$$(l_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 + l_{C_3} \dot{\theta}_2 \sin \theta_2)^2] + \frac{1}{2} I_3 \dot{\theta}_2^2 =$$

$$\frac{1}{2} m_3 [l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + l_{C_3}^2 \dot{\theta}_2^2 + 2 l_1 l_{C_3} \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)] +$$

$$\frac{1}{2} I_3 \dot{\theta}_2^2 \quad (5)$$

$$U_3 = m_3 g (l_1 \cos \theta_1 + l_{C_3} \cos \theta_2) \quad (6)$$

其中: T_3 和 U_3 分别为拉杆的动能和势能; m_3 为拉杆质量; l_{C_1} 为连杆质心到驱动关节处的距离; I_3 为拉杆转动惯量。

4) 小臂的动能和势能。小臂的运动亦与连杆和大臂的运动相关。

当大臂静止、连杆转动时,末端 D 绕 C 转动,则小臂质心绕铰接点 C 转动的速度 $v_{C_4} = l_{C_4} \dot{\theta}_1$,在两个坐标方向的分量 $v_{C_4,x}$ 和 $v_{C_4,y}$ 分别为

$$v_{C_4,x} = -l_{C_4} \dot{\theta}_1 \cos \theta_1, v_{C_4,y} = -l_{C_4} \dot{\theta}_1 \sin \theta_1$$

其中: l_{C_4} 为小臂质心到铰接点 C 的距离。

当连杆静止,大臂转动时,小臂随大臂端点 C 平动,所以小臂质心的速度 $v_{C_4} = l_2 \dot{\theta}_2$,在两个坐标方向的分量 $v_{C_4,x}$ 和 $v_{C_4,y}$ 分别为

$$v_{C_4,x} = l_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2, v_{C_4,y} = l_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2$$

小臂具有的动能和势能为

$$T_4 = \frac{1}{2} m_4 [l_2^2 \dot{\theta}_2^2 + l_{C_4}^2 \dot{\theta}_1^2 -$$

$$2 l_2 l_{C_4} \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)] + \frac{1}{2} I_4 \dot{\theta}_1^2 \quad (7)$$

$$U_4 = m_4 g (l_2 \cos \theta_2 - l_{C_4} \cos \theta_1) \quad (8)$$

其中: T_4 和 U_4 分别为小臂的动能和势能; m_4 为小臂质量; I_1 和 I_3 分别为连杆、拉杆的转动惯量。

5) 末端件的动能和势能。

当大臂静止,连杆转动时,末端 D 绕 C 转动,则小臂末端绕铰接点 C 转动的速度 $v_D = l_3 \dot{\theta}_1$,在两个坐标方向的分量 $v_{D,x}$ 和 $v_{D,y}$ 分别为

$$v_{D,x} = -l_3 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1, v_{D,y} = -l_3 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1$$

其中: l_3 为小臂末端到铰接点 C 的距离。

当连杆静止,大臂转动时,小臂随大臂端点 C 平动,则小臂末端点速度 $v_D = l_2 \dot{\theta}_2$,在两个坐标方向的分量 $v_{D,x}$ 、 $v_{D,y}$ 分别为

$$v_{D,x} = l_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2, v_{D,y} = l_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2$$

末端件具有的动能和势能为

$$T_5 = \frac{1}{2} m_5 v_5^2 + \frac{1}{2} I_5 \omega_5^2 = \frac{1}{2} m_5 [l_2^2 \dot{\theta}_2^2 + l_3^2 \dot{\theta}_1^2 -$$

$$2 l_2 l_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)] + \frac{1}{2} I_5 \dot{\theta}_1^2 \quad (9)$$

$$U_5 = m_5 g (l_2 \cos \alpha_2 - l_3 \cos \alpha_1) \quad (10)$$

其中: T_5 和 U_5 分别为末端件的动能和势能; m_5 为末端件质量; I_5 为末端件的转动惯量。

对于整个平行连杆机构,其拉格朗日函数为:

$$\begin{aligned} L = T - U = & \frac{1}{2} m_1 \dot{l}_{C_1}^2 + \frac{1}{2} I_1 \dot{\alpha}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{l}_{C_2}^2 + \\ & \frac{1}{2} I_2 \dot{\alpha}_2^2 + \frac{1}{2} m_3 [l_1^2 \dot{\alpha}_1^2 + l_{C_3}^2 \dot{\alpha}_2^2 + 2 l_1 l_{C_3} \dot{\alpha}_1 \dot{\alpha}_2 \cos(\alpha_1 - \\ & \alpha_2)] + \frac{1}{2} I_3 \dot{\alpha}_3^2 + \frac{1}{2} m_4 [l_2^2 \dot{\alpha}_2^2 + l_{C_4}^2 \dot{\alpha}_1^2 - \\ & 2 l_2 l_{C_4} \dot{\alpha}_1 \dot{\alpha}_2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2)] + \frac{1}{2} I_4 \dot{\alpha}_4^2 + \frac{1}{2} m_5 [l_2^2 \dot{\alpha}_2^2 + \\ & l_3^2 \dot{\alpha}_1^2 - 2 l_2 l_3 \dot{\alpha}_1 \dot{\alpha}_2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2)] + \frac{1}{2} I_5 \dot{\alpha}_5^2 - \\ & m_1 g l_{C_1} \cos \alpha_1 - m_2 g l_{C_2} \cos \alpha_2 - m_3 g (l_1 \cos \alpha_1 + \\ & l_{C_3} \cos \alpha_2) - m_4 g (l_2 \cos \alpha_2 - l_{C_4} \cos \alpha_1) - \\ & m_5 g (l_2 \cos \alpha_2 - l_3 \cos \alpha_1) \end{aligned} \quad (11)$$

2.3 大臂和小臂的电机驱动扭矩

应用拉格朗日方程求驱动扭矩。

1) 连杆驱动电机(U轴)力矩。

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_1} = & (-m_3 l_1 l_{C_3} + m_4 l_2 l_{C_4} + m_5 l_2 l_3) \dot{\alpha}_1 \dot{\alpha}_2 \sin(\alpha_1 - \\ & \alpha_2) + (m_1 g l_{C_1} + m_3 g l_1 - m_4 g l_{C_4} - m_5 g l_3) \sin \alpha_1 \\ \frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_1} = & \dot{\alpha}_1 (m_1 l_{C_1}^2 + m_3 l_1^2 + m_4 l_{C_4}^2 + m_5 l_3^2 + I_1 + I_4 + \\ & I_5) + \dot{\alpha}_2 (m_3 l_1 l_{C_3} - m_4 l_2 l_{C_4} - m_5 l_2 l_3) \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_1} \right) = & \ddot{\alpha}_1 (m_1 l_{C_1}^2 + m_3 l_1^2 + m_4 l_{C_4}^2 + I_1 + I_4 + \\ & I_5) + \ddot{\alpha}_2 (m_3 l_1 l_{C_3} - m_4 l_2 l_{C_4} - m_5 l_2 l_3) \cos(\alpha_1 - \\ & \alpha_2) - \dot{\alpha}_2 \sin(\alpha_1 - \alpha_2) (\dot{\alpha}_1 - \dot{\alpha}_2) \cdot \\ & (m_3 l_1 l_{C_3} - m_4 l_2 l_{C_4} - m_5 l_2 l_3) \end{aligned}$$

所以,连杆驱动扭矩为

$$\begin{aligned} M_1 = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_1} \right) - \frac{\partial L}{\partial \alpha_1} = & \ddot{\alpha}_1 (m_1 l_{C_1}^2 + m_3 l_1^2 + m_4 l_{C_4}^2 + \\ & m_5 l_3^2 + I_1 + I_4 + I_5) + \ddot{\alpha}_2 (m_3 l_1 l_{C_3} - m_4 l_2 l_{C_4} - \\ & m_5 l_2 l_3) \cos(\alpha_1 - \alpha_2) + \dot{\alpha}_2^2 (m_3 l_1 l_{C_3} - m_4 l_2 l_{C_4} - \\ & m_5 l_2 l_3) \sin(\alpha_1 - \alpha_2) - (m_1 g l_{C_1} + m_3 g l_1 - \\ & m_4 g l_{C_4} - m_5 g l_3) \sin \alpha_1 \end{aligned} \quad (12)$$

其中 $\ddot{\alpha}_1$ 和 $\ddot{\alpha}_2$ 分别为连杆和大臂的转动角加速度。

2) 大臂驱动电机(L轴)力矩。

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_2} = & (m_3 l_1 l_{C_3} - m_4 l_2 l_{C_4} - m_5 l_2 l_3) \dot{\alpha}_1 \dot{\alpha}_2 \sin(\alpha_1 - \alpha_2) + \\ & (m_2 g l_{C_2} + m_3 g l_{C_3} + m_4 g l_2 + m_5 g l_2) \sin \alpha_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_2} = & \dot{\alpha}_2 (m_2 l_{C_2}^2 + m_3 l_{C_3}^2 + m_4 l_2^2 + m_5 l_2^2 + I_2 + I_3) + \\ & \dot{\alpha}_1 (m_3 l_1 l_{C_3} - m_4 l_2 l_{C_4} - m_5 l_2 l_3) \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_2} \right) = & \ddot{\alpha}_2 (m_2 l_{C_2}^2 + m_3 l_{C_3}^2 + m_4 l_2^2 + m_5 l_2^2 + I_2 + \\ & I_3) + \ddot{\alpha}_1 (m_3 l_1 l_{C_3} - m_4 l_2 l_{C_4} - m_5 l_2 l_3) \cos(\alpha_1 - \alpha_2) - \\ & \dot{\alpha}_1 \sin(\alpha_1 - \alpha_2) (\dot{\alpha}_1 - \dot{\alpha}_2) (m_3 l_1 l_{C_3} - m_4 l_2 l_{C_4} - m_5 l_2 l_3) \end{aligned}$$

所以,大臂驱动力矩为

$$\begin{aligned} M_2 = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}_2} \right) - \frac{\partial L}{\partial \alpha_2} = & \ddot{\alpha}_2 (m_2 l_{C_2}^2 + m_3 l_{C_3}^2 + m_4 l_2^2 + \\ & m_5 l_2^2 + I_2 + I_3) + \ddot{\alpha}_1 (m_3 l_1 l_{C_3} - m_4 l_2 l_{C_4} - \\ & m_5 l_2 l_3) \cos(\alpha_1 - \alpha_2) - \dot{\alpha}_1^2 (m_3 l_1 l_{C_3} - m_4 l_2 l_{C_4} - \\ & m_5 l_2 l_3) \sin(\alpha_1 - \alpha_2) - (m_2 g l_{C_2} + m_3 g l_{C_3} + \\ & m_4 g l_2 + m_5 g l_2) \sin \alpha_2 \end{aligned} \quad (13)$$

对式(12)和(13)分析可知,系统中所有由科氏力引起的惯性力消失了,机构中臂杆之间的相对运动关系变得相对简单,机器人的小臂或者随大臂作平移运动,或者随连杆的运动绕大臂端点转动,因而没有科氏加速度产生。如果令

$$m_3 l_1 l_{C_3} - m_4 l_2 l_{C_4} - m_5 l_2 l_3 = 0 \quad (14)$$

则连杆和大臂驱动力矩能够完全消除不同坐标间的耦合使用,因此,在采用平行四杆机构的点焊机器人中,若平衡方式选择适当,则机构中的非线性程度将大为减少。

对于国产 HT120 点焊机器人, $m_3 = 197.4 \text{ kg}$, $m_4 = 277.4 \text{ kg}$, $m_5 = 120 \text{ kg}$, $l_1 = 0.542 \text{ m}$, $l_2 = 1.1 \text{ m}$, $l_3 = 1.3 \text{ m}$, $l_{C_3} = 0.55 \text{ m}$, $l_{C_4} = 0.215 \text{ m}$,代入式(14)得

$$\begin{aligned} m_3 l_1 l_{C_3} - m_4 l_2 l_{C_4} - m_5 l_2 l_3 = \\ 58.8 - 65.6 - 171.6 = -178.4 \end{aligned}$$

可见,如果适当增大拉杆质量或者不考虑末端件(焊钳)质量,则机器人能保持很好的平衡,但由于受机器人本身质量的限制,拉杆质量不可能太大;同时点焊机器人末端件质量不仅必须考虑,而且其质量也很大(120 kg),因此机器人工作过程中,如果仅使用平行四杆机构来保持机器人的动平衡是远远不

够的,还必须结合其他平衡方式共同使用。而在实际的 HT120 点焊机器人结构中,为了确保动平衡的实现,也确实采用了平衡缸(内装压缩弹簧)等装置来保证点焊机器人在工作过程中的动平衡。

3 结 论

点焊机器人中,平行四杆机构的采用使得两根臂杆的驱动电机和减速机构可以安装在机座上,减轻了臂杆质量,从而使臂杆的尺寸和质量较同样性能的关节机器人小很多;同时,平行四杆机构的采用能减小甚至完全消除点焊机器人结构的非线性成分和消除不同坐标间的耦合作用,从而大大提高机器人系统的动态特性和使用性能。但是由于受机器人本身质量的限制,以及由于点焊机器人末端负荷太大,在点焊机器人工作过程中,如果仅使用平行四杆机构来保持机器人的动平衡是远远不够的,还必须结合其他平衡方式来进一步改善机器人的动平衡。

参 考 文 献

- [1] 蔡自兴. 机器人学[M]. 北京:清华大学出版社,2000. 89~96,115~117,335~337
- [2] 马香峰,余达泰. 工业机器人的操作机设计[M]. 北京:冶金工业出版社,1999. 71~85
- [3] 梁爱清. 机器人平衡机构的设计[J]. 机械开发,1999(2):37~39
- [4] 曹惟庆. 连杆机构的分析与综合[M]. 北京:科学出版社,2002. 145~156,190~209
- [5] 姜虹,贾苏海,王小椿. 6自由度并联机器人的结构参数对活动空间的影响[J]. 机械科学与技术,1999(2):259~261
- [6] 王国强,张进平,马若丁. 虚拟样机技术及其在ADAMS上的实践[M]. 西安:西北工业大学出版社,2002. 9~16,51~107
- [7] 朱照宣,周起钊,殷金生. 理论力学[M]. 北京:北京大学出版社,1997. 315~325
- [8] 费学博. 高等动力学[M]. 杭州:浙江大学出版社,1993. 27~42

(上接第26页)

蒜的试验结果,暖地型大蒜的有效温度区域可能更高些。另外,低温处理对茎尖外植体新芽形成的促进,也可能是打破了茎顶芽优势的结果。低温处理在促进芽苗形成的同时,还促进了芽的伸长。试验结果证明,低温处理对大蒜形态形成和生长的促进效果在大蒜的离体培养中也存在,利用大蒜的这一特性,可提高脱毒大蒜的繁殖率。

参 考 文 献

- [1] 小川 勉,松原德行,森 昭. ニンニクのウイルスフリー株育成[J]. 农业 および园艺,1976,51(4):551

~554

- [2] 徐培文,孙慧生,孙瑞杰,等. 脱毒大蒜速繁途径探讨和良繁体系的建立[J]. 中国蔬菜,1993(5):9~13
- [3] Bhojwani S S, Cohen D, Fry P R. Production of virus-free garlic and field performance of micropropagated plants[J]. Scientia Hortic, 1982,13:47~52
- [4] Abo EL-NIL M M. Organogenesis and embryogenesis in callus of garlic[J]. Plant Sci Lett, 1977,9:259~264
- [5] 绫部昌则. 苗条原基と大量増殖 ニンニクの誘導法[J]. 农业 および园艺,1990,11月号别册:28~29
- [6] 薛惠民,荒木 肇,作锹秋郎. ニンニクにおけるembryogenic callus 形成と植物体再生の品种间差异[J]. 植物组织培养,1991,8(3):166~170