

文章编号 :1007-649X(2000)02-0042-03

并联 6-SPS 机器人动力学分析

澹凡忠<sup>1</sup>, 孙利民<sup>2</sup>, 姜军生<sup>1</sup>

(1. 潍坊高等专科学校, 山东 潍坊 251000; 2. 郑州工业大学数理力学系, 河南 郑州 450002)

摘 要: 并联 6-SPS 机器人是一种特殊结构形式的机器人, 通过对其动力学问题进行探讨, 给出了并联 6-SPS 机器人系统的动能、惯性张量、惯性力的矩阵表达式, 利用动力学普遍方程建立了运动控制方程, 得到了机构 6 个液压缸的驱动力和上平台所受广义力之间的关系式, 并进行了计算机仿真计算, 为并联机器人的结构设计和动力控制提供了依据, 该分析方法简明、实用, 公式形式整齐, 便于编程计算。

关键词: 并联机器人; 动力学分析; 计算机仿真

中图分类号: TP 242.2 文献标识码: A

并联 6-SPS 机器人机构是一种六自由度的空间复杂机构, 其结构如图 1 所示。上、下平台是两个不等边六边形, 下平台六边形的顶点上固连虎克铰, 上平台六边形的顶点用转动副连接虎克铰, 用液压缸把上、下平台的对应虎克铰连接起来, 形成一个空间闭环机构。它与串联机构相比, 具有刚度大、精度高、易控制等优点。文献 [1] 建立了机构运动分析的一、二阶影响系数, 在此基础上, 本文利用动力学普遍方程建立了运动控制方程, 从而解决了动力学计算问题, 为并联机器人样机结构设计提供了依据, 最后进行了计算机仿真。

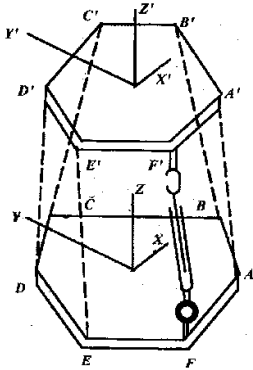


图 1 6-SPS 机器人结构简图

1 动能、惯性张量及惯性力

在机器人机构分析过程中, 如果建立了机构的一、二阶影响系数, 就可以对其动力学问题进行

分析。首先确定机构的动能, 由于并联机器人的质量主要集中在上平台上, 各液压缸的质量较小, 可忽略不计。据文献 [2], 系统的动能可以表示为

$$E_p = \frac{1}{2} (M_p \{V_p\}^T \{V_p\} + \{\omega_p\}^T [I_{cp}^0] \{\omega_p\}) ,$$

其中:  $\{V_p\}$ ,  $\{\omega_p\}$  分别是上平台的速度、角速度矢量, 其形式为

$$\{V_p\} = \{V_x, V_y, V_z\}^T, \{\omega_p\} = \{\omega_x, \omega_y, \omega_z\}^T, \\ M_p [I_{cp}^0] \text{ 分别是上平台及其夹持物的重量、惯性张量 } [I_{cp}^0] \text{ 的具体形式为}$$

$$[I_{cp}^0] = \begin{bmatrix} I_{p_{xx}} & 0 & 0 \\ 0 & I_{p_{yy}} & 0 \\ 0 & 0 & I_{p_{zz}} \end{bmatrix} ,$$

式中, 主对角线上的元素可参考有关文献。若各坐标轴不通过质心或主惯性轴与坐标轴不重合, 则可通过适当的坐标变换来求得  $[I_{cp}^0]$  矩阵。

上平台的动能还可以写成简洁的形式:

$$E_p = \{\dot{p}\}^T [I_{sp}] \dot{p} ,$$

$$\text{其中: } [I_{sp}] = \begin{bmatrix} [M_{cp}] & [0]_{3 \times 3} \\ [0]_{3 \times 3} & [I_{cp}^0] \end{bmatrix} ; \\ [M_{cp}] = \begin{bmatrix} M_p & 0 & 0 \\ 0 & M_p & 0 \\ 0 & 0 & M_p \end{bmatrix} ,$$

式中  $[I_{sp}]$  为广义惯性张量, 它是机构本身的力学量;  $\{\dot{p}\}$  为上平台的广义输出速度。

收稿日期: 1999-12-01; 修订日期: 2000-02-30

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(984053600)

作者简介: 澹凡忠(1962-), 男, 山东潍坊市人, 潍坊高等专科学校副教授, 硕士, 主要从事机器人动力学方面的研  
万方数据

$$\{p\} = \{V_x, V_y, V_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z\}^T.$$

上平台的广义惯性力可以表示如下：

$$\{F_a\} = -[I_{sp} K \ddot{p}] - \left\{ \begin{matrix} [0]_{3 \times 1} \\ [\omega_p] [I_{cp}^0] [\omega_p] \end{matrix} \right\}.$$

其中： $\{F_a\}$ 为上平台的广义惯性力； $\ddot{p}$ 是上平台的广义加速度； $[\omega_p]$ 是上平台的角度反对称矩阵，它的具体形式为

$$[\omega_p] = \begin{bmatrix} 0 & \omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix}.$$

设上平台上作用  $n$  个外力(矩)，将其简化到质心上，用一个六维广义外力表示：

$$\{F_p\} = \{F_{px}, F_{py}, F_{pz}, T_{px}, T_{py}, T_{pz}\}^T,$$

将外力和惯性力合为一项，则上平台所受的力为

$$\{F\} = \{F_a\} + \{F_p\} = \{F_x, T_y, F_z, T_x, T_y, T_z\}^T.$$

## 2 运动控制方程

机器人在许多情况下需要在已知外力作用下求解其运动规律，在已知运动规律的情况下求解所需的外力，解决这两类动力学问题必须建立系统的运动控制方程。由于机器系统的约束一般都

是理想约束，当忽略各驱动件的重量时，根据动力学普遍方程可得

$$\{F\}^T \{\dot{p}\} + \{f_s\}^T \{\dot{s}\} = 0.$$

其中： $\{f_s\}$ 、 $\{\dot{s}\}$ 分别是并联机器人的 6 个液压缸的驱动力和速度。

由文献 [1] 可知：

$$\{\dot{s}\} = [A K \dot{p}],$$

则  $\{F\}^T \{\dot{p}\} + \{f_s\}^T [A K \dot{p}] = 0,$

即  $\{F\}^T + \{f_s\}^T [A] = 0,$

经整理得  $\{f_s\} = -[A^{-1}]^T \{F\},$

其中：矩阵  $[A]$  为并联机器人的一阶影响系数。当已知并联机器人上平台的运动状态及受力状态时，可以求出 6 个驱动液缸所受的力。

## 3 实例计算

并联机器人的运动学参数选为：上、下平台的半径分别为 0.25 m、0.275 m，短边角所对中心角为  $30^\circ$ ，长边所对中心角为  $90^\circ$ ， $M_p = 100 \text{ kg}$ ； $I_{p_{xx}} = 2 \text{ kgm}^2$ ； $I_{p_{yy}} = 2 \text{ kgm}^2$ ； $I_{p_{zz}} = 3 \text{ kgm}^2$ ； $F_{pz} = -1470 \text{ N}$ 。机构的初始位置为： $\{s\} = \{1.099, 1.099, 1.099, 1.099, 1.099, 1.099\}$ ，设驱动速度为  $\{\dot{s}\} = \{0.1, 0.2, 0.1, 0.2, 0.1, 0.2\}$ ，驱动加速度为零，当上平台绕  $Z$  轴旋转时，计算机仿真结果见图 2。

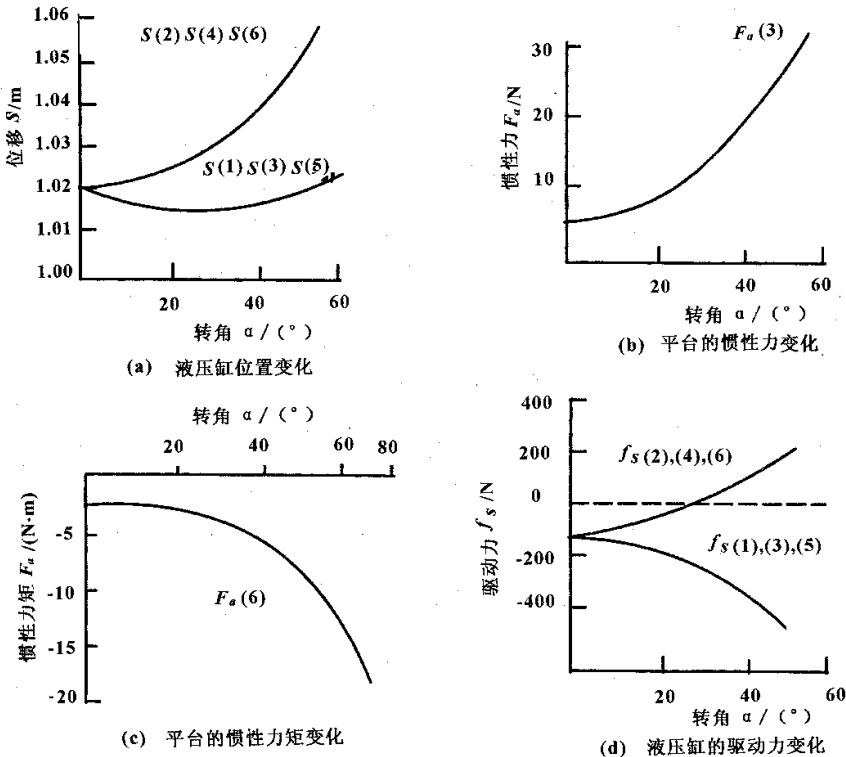


图 2 并联机器人计算机仿真结果

## 4 结束语

动力学分析问题是机器人研究、设计的基础。本文运用影响系数分析法,根据动力学普遍方程,建立了并联 6-SPS 机器人的运动控制方程,从而得到了机构的 6 个液压缸的驱动力,为并联机器人的结构设计提供了依据。本文分析方法简明、

实用,公式形式整齐,便于编程序计算。

## 参考文献:

- [1] 澹凡忠,黄真,王洪波. 并联 6-SPS 机器人的影响系数及其应用[J]. 机器人, 1989(5): 32-34.
- [2] 黄真,王洪波. 复杂多环空间机构动力分析的影响系数法[J]. 机械工程学报, 1988(3): 56-59.

## The Dynamic Analysis of parallel 6-SPS Robot

TAN Fan-zhong<sup>1</sup>, SUN Li-min<sup>2</sup>, JIANG Jun-sheng<sup>1</sup>

(1. Weifang Advanced Academy, Weifang 251000, China; 2. College of Mathematics, Physics & Mechanics, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** The dynamic problems of parallel 6-SPS robot are studied in this paper, and the matrix formulas of kinetic energy, inertia tensor and inertia force are given. The motion control equation is established by using dynamic universal equation. The relation between the driven Forces of the six hydraulic cylinders of the mechanism and the generalized force of upper platform is attained. It provides basis for the mechanism design and force control of parallel robot. The analysis method is concise and practical, and the formulas are in good order, which are convenient for programming calculation. Finally, the computer simulation calculations are carried out.

**Key words:** parallel robot; dynamic analysis; computer simulation

万方数据