

5-UPS/PRPU 5 自由度并联机床运动学分析*

赵永生 郑魁敬 李秦川 田小静
(燕山大学机械工程学院 秦皇岛 066004)

摘要: 介绍了一种新型的 5-UPS/PRPU 5 自由度并联机床, 定平台通过五个结构完全相同的驱动分支 UPS 分支以一个约束分支 PRPU 分支与动平台相连接。该机床可以实现三维移动和两维转动, PRPU 分支关节变量反映了动平台位姿, 为实现闭环控制提供了条件。通过对其运动学进行分析和计算, 确定了中间分支对动平台的约束运动, 建立了该机床的运动学反解方程和雅可比矩阵, 并通过机床样机试验验证了理论分析的正确性。

关键词: 并联机床 5 自由度 运动学 雅可比矩阵

中图分类号: TP242.2

0 前言

并联机床作为一种全新结构的机床, 在近年来得到了极大的重视和迅速的发展, 该种机床将机床结构技术、并联机器人技术、现代伺服驱动技术和数控技术结合起来, 与传统机床相比, 具有刚度重量比大、累积误差小、动态特性好、结构紧凑、模块化强和实现复杂曲面加工能力较强等优点^[1,2]。

并联机床多采用 6 自由度的 Stewart 平台^[3]作为基本结构, 国外如美国 Ingersoll 公司生产的 HOH-600 型卧式并联加工中心, 美国 Hexel 公司生产的 Tornado 2000 和德国的 Paralix 等, 国内如清华大学和天津大学联合研制的并联机床样机 VAMT1Y^[4], 清华大学与昆明机床厂联合开发的虚拟轴机床产品化样机, 哈工大研制的 BJ-30 型并联机床原型样机^[5], 以及和哈尔滨量具刃具厂联合研制的并联机床; 还有的 6 自由度并联机床采用六滑块机构^[6]; 对于少自由度并联机床的研究^[7-9], 目前以 3 自由度和 5 自由度的并联机床应用较为广泛, 其中 3 自由度的, 国外如意大利 Comau 公司的 HPI 3 自由度并联机床、德国斯图加特大学的 LINAPOD 三杆机床等; 国内有天津大学与天津机床厂联合研制的 3 自由度并联机床 3-HSS^[10], 东北大学研制的 3 自由度虚拟轴磨床^[11]; 5 自由度的并联机床机构多采用三杆并联平动机构加上 2 自由度串联转动机构, 或采用二维转动和一维平动并联机构加上工作台二维平动机构, 国外如意大利研制的 Dragonfly 和瑞典的 TMC805 等, 国内大连机床厂研制的五轴联动并联机床 DCB510 和东北大学研制的五轴联动

并联机床 DSX5-70^[12]等; 完全采用并联机构实现三维移动两维转动的 5 自由度并联机床很少。

5-UPS/PRPU 5 自由度并联机床机构是由本课题组发明的一种新型的少自由度并联机构, 动平台可以实现三维移动和两维转动, 具有刚度重量比大、结构简单、运动质量低、控制算法易于实现、动态性能好和加工装配性好等优点。

1 5-UPS/PRPU 并联机构描述

5-UPS/PRPU 5 自由度并联机床机构如图 1 所示, 包括定平台, 动平台以及连接定平台与动平台的分支等组成。其特征在于: 定平台通过五个结构完全相同的驱动分支 UPS(虎克铰—移动副—球副)分支以及一个约束分支 PRPU(移动副—转动副—移动副—虎克铰)分支与动平台相连接。

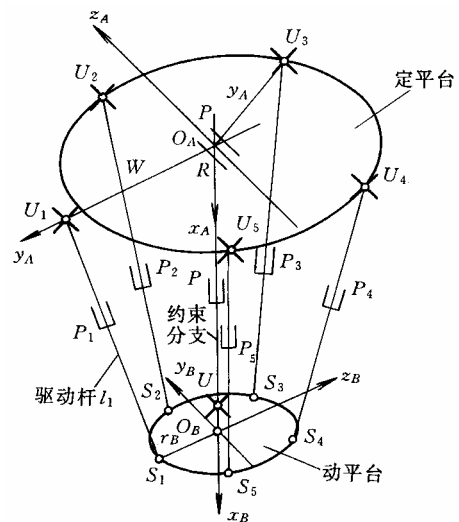


图 1 5 自由度并联机床机构简图

本机构类似于 Stewart 平台, 也属于闭环机构。自由度的计算可采用 Kutzbach Grubler 公式

* 河北省自然科学基金(503287)和河北省博士基金(2001216)资助项目。
20020930 收到初稿, 20030825 收到修改稿

$$M = 6(n - g - 1) + \sum_{i=1}^g f_i \quad (1)$$

式中 M ——机构自由度数
 n ——机构总构件数
 g ——运动副数
 f_i ——第 i 个运动副的相对自由度数

由式(1)可得到本机构的自由度数为 5。

2 机构运动学分析

2.1 动平台被约束运动的确定

中间约束分支 PRPU 分支中, P 副与定平台相连, U 副中的一个 R 副与动平台相连, 利用螺旋理论^[13]对该分支进行分析, 其运动螺旋系的建立如图 2 所示。

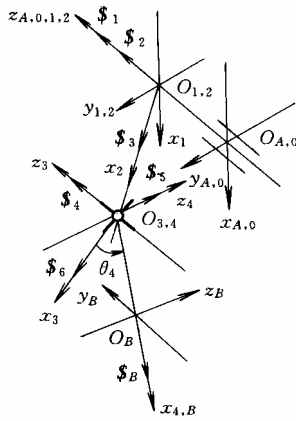


图 2 PRPU 分支运动螺旋与坐标系示意图

在动平台运动过程中, PRPU 分支的运动螺旋系为

$$\begin{cases} S_1 = (000; 001) \\ S_2 = (0 0 1; 0 0 0) \\ S_3 = (000; l_2 \ m_2 \ 0) \\ S_4 = (001; p_4 \ q_4 \ 0) \\ S_5 = (l_5 \ m_5 \ 0; p_5 \ q_5 \ r_5) \end{cases} \quad (2)$$

对式(2)所表示的运动螺旋系求反螺旋, 得出 PRPU 分支的结构约束力螺旋为

$$S_r = (000; -m_5 \ l_5 \ 0) \quad (3)$$

式(3)表示沿 U 副中两个转动副轴线构成平面法线(图 2 中的 S_6 轴)的约束力偶 S_r , 该约束力偶约束的瞬时运动为 $S_6 = (-m_5 \ l_5 \ 0; p_6 \ q_6 \ r_6)$, 即绕 U 副中两个转动副轴线构成平面法线的转动。绕动平台法线 x_B 转动的运动螺旋 S_B 与运动螺旋 S_6 相交并绕 S_5 旋转 θ_4 角(见图 2), 在一般情况下 $\theta_4 \neq 90^\circ$, S_r 与 S_B 的互易积 $S_r \circ S_B \neq 0$, 即约束力偶 S_r 对绕动平台法线转动

的虚功不为零, 则约束力偶 S_r 约束动平台绕自身法线方向的转动, 即 PRPU 分支在机构的运动过程中, 将始终约束动平台绕自身法线方向的转动, 该转动自由度在机床的联动加工中恰好为一个冗余自由度。

2.2 PRPU 约束分支运动学分析

用 $D-H$ 方法^[14]建立中间约束分支 PRPU 分支的坐标系如图 2 所示, 基坐标系 O 与定坐标系 A 重合, 相应的 $D-H$ 参数如表所示。

表 约束分支参数

关节序号 i	连杆长度 $a_{i,1}$	扭角 $\alpha_{i,1}$	连杆偏置 d_i	关节角 θ_i
1	0	0	d_1	0
2	0	0	0	θ_2
3	a_2	0	0	θ_3
4	0	α_3	0	θ_4
5	a_4	0	0	0

其中, 变量: $d_1, \theta_2, a_2, \theta_3, \theta_4$; 常量: $a_4, \alpha_3 (= 90^\circ)$ 。

动平台坐标系 B 相对于定平台坐标系 A 的变换矩阵为

$$T_{B-A}(d_1, \theta_2, a_2, \theta_3, \theta_4) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2 + \theta_3)\cos\theta_4 & -\cos(\theta_2 + \theta_3)\sin\theta_4 & & & \\ \sin(\theta_2 + \theta_3)\cos\theta_4 & -\sin(\theta_2 + \theta_3)\sin\theta_4 & & & \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 & & & \\ 0 & 0 & & & \\ \sin(\theta_2 + \theta_3) & a_2 \cos\theta_2 + a_4 \cos(\theta_2 + \theta_3)\cos\theta_4 & & & \\ -\cos(\theta_2 + \theta_3) & a_2 \sin\theta_2 + a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3)\cos\theta_4 & & & \\ \sin\theta_4 & d_1 + a_4 \sin\theta_4 & & & \\ 0 & 1 & & & \end{bmatrix} \quad (4)$$

若用 $z-y-x$ 欧拉角 (α, β, γ) 表示动平台的姿态, 则

$$T_{B-A}(x_{BO,A}, y_{BO,A}, z_{BO,A}, \alpha, \beta, \gamma) = \begin{bmatrix} \cos\alpha \cos\beta & \cos\alpha \sin\beta \sin\gamma - \sin\alpha \cos\gamma & & & \\ \sin\alpha \cos\beta & \sin\alpha \sin\beta \sin\gamma + \cos\alpha \cos\gamma & & & \\ -\sin\beta & \cos\beta \sin\gamma & & & \\ 0 & 0 & & & \\ \cos\alpha \sin\beta \cos\gamma + \sin\alpha \sin\gamma & x_{BO,A} & & & \\ \sin\alpha \sin\beta \cos\gamma - \cos\alpha \sin\gamma & y_{BO,A} & & & \\ \cos\beta \cos\gamma & z_{BO,A} & & & \\ 0 & 0 & & & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, 变量 $(x_{BO,A}, y_{BO,A}, z_{BO,A}, \alpha, \beta, \gamma)$ 为动平台的位姿参数。

通过比较两种变换矩阵式(4)和(5), 可以得到下面的公式

$$\begin{cases} x_{BO,A} = a_2 \cos \theta_2 + a_4 \cos(\theta_2 + \theta_3) \cos \theta_4 \\ y_{BO,A} = a_2 \sin \theta_2 + a_4 \sin(\theta_2 + \theta_3) \cos \theta_4 \\ z_{BO,A} = d_1 + a_4 \sin \theta_4 \\ \alpha = (\theta_2 + \theta_3) \\ \beta = -\theta_4 \\ \gamma = 90^\circ \end{cases} \quad (6)$$

由式(6)可知, 动平台的姿态参数中绕 x_B (动平台法线)的参数 $\gamma=90^\circ$ 为一常数, 则动平台绕自身法线转动的角速度为 0, 可知中间 PRPU 约束分支在机构的运动中, 将始终约束动平台绕自身法线方向转动, 而被约束的自由度在机床加工中为一个冗余自由度, 即加工过程中的刀具绕自身的转动。中间约束分支为一个被动分支, 不具有主动副。

由于中间约束分支 PRPU 分支反映了动平台在运动过程中的实际位姿, 因此可以在中间分支上安装旋转编码器和光栅尺实时测量出变量($d_1, \theta_2, a_2, \theta_3, \theta_4$), 通过式(6)进行运算得到动平台的实际位姿($x_{BO,A}, y_{BO,A}, z_{BO,A}, \alpha, \beta$)。该运算算式简单, 实时性好, 可以取代并联机构常用的繁琐的正解算法来计算动平台的位姿, 且能消除正解的多解性, 为该机床实现在笛卡儿坐标下的闭环控制提供了可行途径, 从而有望进一步提高机床的加工精度。

当工作空间的位姿($x_{BO,A}, y_{BO,A}, z_{BO,A}, \alpha, \beta$)确定后, 中间支链关节的参数($d_1, \theta_2, a_2, \theta_3, \theta_4$)可唯一确定

$$\begin{cases} d_1 = z_{BO,A} + a_4 \sin \beta \\ a_2 = \left[(x_{BO,A} - a_4 \cos \alpha \cos \beta)^2 + (y_{BO,A} - a_4 \sin \alpha \cos \beta)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ \theta_2 = \arctan \left(\frac{y_{BO,A} - a_4 \sin \alpha \cos \beta}{x_{BO,A} - a_4 \cos \alpha \cos \beta} \right) \\ \theta_3 = \alpha - \theta_2 \\ \theta_4 = -\beta \end{cases} \quad (7)$$

2.3 5-UPS 机构运动学反解分析

如图 1 所示在机构上下平台上分别建立坐标系, 定坐标系 A 固定于定平台上, 动坐标系 B 建立在动平台上。

由动平台位姿求位置反解, 则动平台的位姿($x_{BO,A}, y_{BO,A}, z_{BO,A}, \alpha, \beta$)为已知, 设 R 为动平台姿态的方向余弦矩阵, $P_{BO,A} = [x_{BO,A} \ y_{BO,A} \ z_{BO,A}]^T$ 为动坐标系 B 原点在参考坐标系 A 中的位置矢量。根据给定机构的各个结构尺寸, 利用几何关系, 可求出动、定平台各个 UPS 分支铰链点在各自坐标系中的坐标值。

定平台上的五个铰链点中, 第一个铰链点 U_1 沿坐标系 A 的 y 坐标轴方向, 坐标值为 W , 其余四个铰链点 $U_i(i=2, \dots, 5)$ 为均匀布置, 半径为 r_A , 间隔角度为 $\theta(=\pi/2)$, 可得到定平台上铰链点 $U_i(i=1, 2, \dots, 5)$ 在定坐标系 A 的坐标表示为

$$P_{Ai,A} = [x_{Ai,A} \ y_{Ai,A} \ z_{Ai,A}]^T$$

动平台上五个铰链点为均匀布置, 第一个铰链点 S_1 沿坐标系 B 的 z 坐标轴反方向, 半径为 r_B , 间隔角度为 $\phi(=2\pi/5)$, 则动平台上铰链点 $S_i(i=1, 2, \dots, 5)$ 在动坐标系 B 的坐标表示为

$$P_{Bi,B} = [x_{Bi,B} \ y_{Bi,B} \ z_{Bi,B}]^T$$

动平台上铰链点 $S_i(i=1, 2, \dots, 5)$ 在定坐标系 A 中位置矢量为

$$P_{Bi,A} = [x_{Bi,A} \ y_{Bi,A} \ z_{Bi,A}]^T$$

则可以得到 5 个驱动杆杆长在固定坐标系 A 中的矢量 $L_i = [L_{xi} \ L_{yi} \ L_{zi}]^T$, 即

$$L_i (i=1, 2, \dots, 5) = f_i(x_{BO,A}, y_{BO,A}, z_{BO,A}, \alpha, \beta)$$

则

$$L_i = P_{Bi,A} - P_{Ai,A} = RP_{Bi,B} + P_{BO,A} - P_{Ai,A} \quad i=1, 2, \dots, 5 \quad (8)$$

可用 z - y - x 欧拉角(α, β, γ)表示方向余弦矩阵 R , 由于本机构约束 $\gamma=90^\circ$, 则 R 简化如下

$$R = R_{z-y-x}(\alpha, \beta, \gamma=90^\circ) = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta & \sin \alpha \\ \sin \alpha \cos \beta & \sin \alpha \sin \beta & -\cos \alpha \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

根据五驱动杆动端点坐标和已知的静端点坐标, 即可求得各驱动杆长度为

$$l_i = |L_i| = |P_{Bi,A} - P_{Ai,A}| = \left[(x_{Bi,A} - x_{Ai,A})^2 + (y_{Bi,A} - y_{Ai,A})^2 + (z_{Bi,A} - z_{Ai,A})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad i=1, 2, \dots, 5 \quad (10)$$

通过式(10), 可以将并联机床工作空间中规划好的动平台上加工刀具的位姿, 转化为关节空间中的驱动杆的杆长, 从而实现对机床加工过程中刀具位姿的控制。

2.4 机构的雅可比矩阵

如图 3 所示, 在定平台坐标系 A 中, $v_{BO,A}$ 为动平台中心点 O_B 的线速度; $\omega_{B,A}$ 为动平台的角速度; $r_{i,A}$ 为铰点 S_i 相对于 O_B 的矢径; $v_{S_i,A}$ 为铰点 S_i 的速度; n_i 为杆 L_i 的单位方向矢量; \dot{l}_i 为杆 L_i 的杆长变化速率, 即关节驱动速度, 其中 $i=1, 2, \dots, 5$ 。

$$v_{S_i,A} = v_{BO,A} + \omega_{B,A} \times r_{i,A} \quad (11)$$

$$\dot{l}_i = \mathbf{v}_{S_i,A} \cdot \mathbf{n}_i = [\mathbf{n}_i^T (\mathbf{r}_{i,A} \times \mathbf{n}_i)^T] \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{BO,A} \\ \boldsymbol{\omega}_{B,A} \end{bmatrix} \quad (12)$$

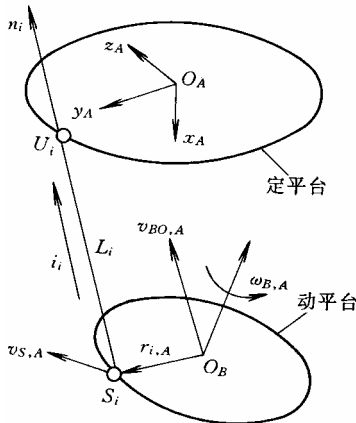


图3 运动速度分析示意图

对于全部5个驱动支链, 有

$$\dot{\mathbf{L}} = \mathbf{J}_A \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{BO,A} \\ \boldsymbol{\omega}_{B,A} \end{bmatrix} \quad (13)$$

式中 $\dot{\mathbf{L}} = [\dot{l}_1 \ \dot{l}_2 \ \dot{l}_3 \ \dot{l}_4 \ \dot{l}_5]^T$

$$\mathbf{J}_A = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_1^T & (\mathbf{r}_{1,A} \times \mathbf{n}_1)^T \\ \mathbf{n}_2^T & (\mathbf{r}_{2,A} \times \mathbf{n}_2)^T \\ \mathbf{n}_3^T & (\mathbf{r}_{3,A} \times \mathbf{n}_3)^T \\ \mathbf{n}_4^T & (\mathbf{r}_{4,A} \times \mathbf{n}_4)^T \\ \mathbf{n}_5^T & (\mathbf{r}_{5,A} \times \mathbf{n}_5)^T \end{bmatrix}$$

雅可比矩阵 $\mathbf{J}_A \in \mathbf{R}^{5 \times 6}$ 是动平台六维速度与关节驱动速度矢量之间的雅可比矩阵, 称为并联机床的速度传递矩阵, 也可以称为各驱动杆速度对动平台六维速度的一阶影响系数矩阵。该雅可比矩阵只适用于由工作空间向关节空间的速度映射, 即当给定动平台上刀具的进给速度, 可以唯一得到五个驱动支链的驱动速度; 而当给定各关节驱动速度, 则由式(13)不能得到唯一的动平台六维速度。

动平台角速度 $\boldsymbol{\omega}_{B,A} = [\omega_{Bx,A} \ \omega_{By,A} \ \omega_{Bz,A}]^T$ 也可以用表示动平台姿态参数的 z - y - x 欧拉角 (α, β, γ) 对时间的导数 $\boldsymbol{\omega}_{\alpha\beta\gamma,A} = [\dot{\alpha} \ \dot{\beta} \ \dot{\gamma}]^T$ 来表示, 即

$$\boldsymbol{\omega}_{B,A} = \begin{bmatrix} 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \cos \beta \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \sin \beta \\ 1 & 0 & -\sin \beta \end{bmatrix} \boldsymbol{\omega}_{\alpha\beta\gamma,A} \quad (14)$$

因为在本机构中 $\gamma = 90^\circ$, 所以 $\dot{\gamma} = 0$, 则

$$\begin{bmatrix} {}^A \omega_{Bx} \\ {}^A \omega_{By} \\ {}^A \omega_{Bz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\sin \alpha \\ 0 & \cos \alpha \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\alpha} \\ \dot{\beta} \end{bmatrix} \quad (15)$$

根据式(15)可将动平台的六维速度表示为

$$\begin{bmatrix} \mathbf{v}_{BO,A} \\ \boldsymbol{\omega}_{B,A} \end{bmatrix} = \mathbf{T}_\omega \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{BO,A} \\ \dot{\alpha} \\ \dot{\beta} \end{bmatrix} \quad (16)$$

式中

$$\mathbf{T}_\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \alpha \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

将式(16)代入式(13), 可得到

$$\dot{\mathbf{L}} = \mathbf{J}'_A \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{BO,A} \\ \dot{\alpha} \\ \dot{\beta} \end{bmatrix} \quad (17)$$

式中 \mathbf{J}'_A 为适用于欧拉角转速形式的雅可比矩阵, $\mathbf{J}'_A = \mathbf{J}_A \mathbf{T}_\omega \in \mathbf{R}^{5 \times 5}$

当机构非奇异时, 有

$$\begin{bmatrix} \mathbf{v}_{BO,A} \\ \dot{\alpha} \\ \dot{\beta} \end{bmatrix} = \mathbf{J}'_A^{-1} \dot{\mathbf{L}} \quad (18)$$

雅可比矩阵 \mathbf{J}'_A 描述了五个驱动杆与动平台速度之间的齐次变换关系。在一般位形下, 该雅可比矩阵是非奇异的, 表明对于该并联机床, 关节空间和工作空间之间的速度映射为一一映射, 即当给定动平台上刀具的进给速度, 可以唯一得到五个驱动支链的驱动速度, 同样当给定五个驱动支链的驱动速度时, 也可以唯一得到动平台上刀具的进给速度。因此可以在并联机床的工作空间规划刀具在加工过程中的进给速度, 通过该矩阵得到在并联机床的关节空间中驱动杆的驱动速度, 从而实现对机床加工过程中动平台上刀具进给速度的控制。

3 试验验证

根据以上理论所研制的并联机床样机为图4所示。在该机床初步运行过程中, 机床运动平稳, 可控性好, 噪声较小, 振动性小, 运行轨迹具有较好的位置精度, 实际轨迹与理想轨迹基本一致, 轨迹的拟合性和重复精度较好, 有力地验证了以上理论分析的正确性。目前, 机床正在进行精确的标定和调试。

4 结论

随着并联机床技术的进一步发展, 少自由度并联机床将逐渐显示出应有的潜力。5-UPS/PRPU 5

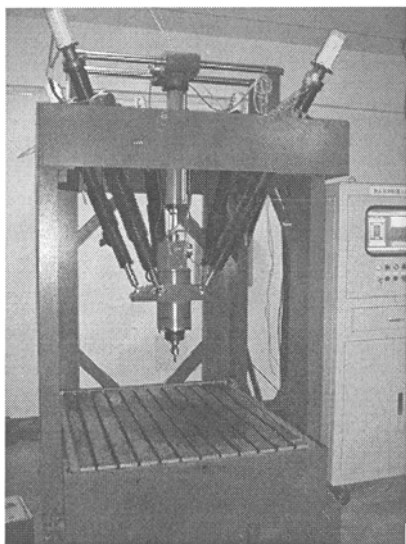


图 4 5-UPS/PRPU 5 自由度并联机床样机

自由度并联机床是一种新的构型，它采用五个驱动分支和一个约束分支，实现了机床切削加工所要求的三维平动和两维转动，具有很好的运动学性能、高刚度和较大的工作空间；其运动学反解十分简单，并且可采用安装在中间约束分支上的传感器对动平台的位姿进行实时测量，从而为实现机床的闭环控制奠定了基础。通过对 5-UPS/PRPU 并联机构的雅可比矩阵进行分析，建立了适用于欧拉角转速形式的 5×5 雅可比矩阵，验证了 5 自由度并联机床关节空间和工作空间的速度映射为一一映射，从而可以实现对机床加工过程中动平台上刀具进给速度的规划和控制。试验结果有力地验证了理论分析的正确性，对于开发和研制高速高效高精度高柔性的并联机床这一新的发展方向将具有一定的价值和意义。

参 考 文 献

- 1 言川宣编译. 机床结构的重大创新—VARIAX 机床问世. 世界制造技术与装备市场, 1995, 1: 16~17
- 2 汪劲松, 黄田. 并联机床—机床行业面临的机遇和挑战. 中国机械工程, 1999, 10: 1103~1107
- 3 Stewart D. A platform with six degrees of freedom. Proceeding Inst. Mech. Eng, 1965, 180(5): 371~386
- 4 汪劲松, 段广洪, 杨向东, 等. VAMT1Y 虚拟轴机床. 制造技术与机床, 1998, 2: 42~43
- 5 刘文涛, 李建生, 祁勇, 等. 并联杆系机床工作空间分析. 机械设计, 1998, 11: 24~27
- 6 Matthias Hebsacker. 用六条腿机床实现高效铣削. 制造技术与机床, 1998, 10: 20~22

- 7 Bruno S. The tricept robot: Inverse kinematics, manipulability analysis and closed-loop direct kinematics algorithm. Robotica, 1999, 17: 437~445
- 8 Huang Z, Tao W S, Fang Y F. Study on the kinematic characteristics of 3-DOF in parallel actuated platform mechanisms. Mechanism and Machine Theory. 1996, 31(8): 999~1007
- 9 Gosselin C M. On the kinematic design of spherical 3-DOF parallel manipulators. International Journal of Robotics Research, 1993, 12(4): 394~402
- 10 王洋, 倪雁冰, 黄田, 等. 三平动并联开放式数控系统开发. 机械设计, 2001, 9: 15~17
- 11 蔡光起, 胡明, 郭成, 等. 机器人化三腿磨削机床的研制. 制造技术与机床, 1998, 10: 4~6
- 12 史家顺, 李波, 孙奕澎, 等. DSX5-70 型三杆虚拟轴机床的开放式数控系统. 制造技术与机床, 2000, 2: 30~31
- 13 黄真, 孔令富, 方跃法. 并联机器人机构学理论及控制. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 14 熊由伦, 丁汉, 刘恩沧. 机器人学. 北京: 机械工业出版社, 1993

KINEMATIC ANALYSIS OF 5-UPS/PRPU 5-DOF PARALLEL MACHINE TOOL

Zhao Yongsheng Zheng Kuijing

Li Qinchuan Tian Xiaojing

(Yanshan University)

Abstract: A novel 5UPS/PRPU 5-DOF PMT (Parallel machine tool) is proposed. The stationary platform is connected with the moving platform by the same five UPS driving links and a PRPU constraint link. Three translation DOF and two rotation DOF can be achieved. Moreover, the position and orientation parameters of the moving platform can be calculated by the PRPU link and the closed-loop control may be realized in the PMT. By the kinematic analysis and computation, the rotational constraint acted by the middle link for the moving platform is confirmed. The kinematic inverse solution equation and jacobian matrix for the PMT is presented. The theory and the algorithm are tested by the actual PMT.

Key words: PMT 5-DOF Kinematics Jacobian matrix

作者简介: 赵永生, 男, 1962 年出生, 工学博士, 教授, 博士生导师。主要从事机器人、传感器和机电一体化等理论和技术的研究。