

南京航空航天大学

论文集

(一九九九年)

第 11 册

(机电学院)

南京航空航天大学科技部编

二〇〇〇年三月

机电学院



目 录



五〇三教研室(8 篇)

UG13 环境下小型钛合金叶轮的造型方法	李卫东等 H
新型三自由度并联机床及其运动学模型的建立	吴展等
开放式数控系统—新一代 NC 的主流	游有鹏等
时间分割法椭圆曲线插补算法	游有鹏等
3 - DOF Stewart 机床结构的设计	李桥梁等
Stewart 机床发展大事记	李桥梁等 J
Stewart 机床运动学分析	李桥梁等 H
智能制造技术与系统的发展与研究	赵东标等 H

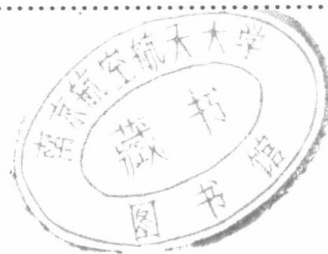
五〇四教研室(10 篇)

超塑成形/扩散焊接组合工艺数值模拟初探	李靖谊等 H
超塑性胀形可视化控制研究	李靖谊等 H
钣金橡皮成形过程数值模拟	卢勤元等 H
用 OpenGL 实现几何模型真实感图形显示	伍铁军等 J
用于数控仿真的快速消隐算法	伍铁军等 H
基于形体补偿的多面体二维消隐算法	钱志峰等 H
计算机技术在工业造型设计中的应用探讨	钱志峰等 H
基于噪声函数描述颜色纹理的方法	钱志峰等 H
BFEC - FMS 装卸工作站测量软件的研究	刘苏等
Research on Parametric Modeling System Based On Feature	刘苏等 H

五〇五教研室(34 篇)

不锈钢的切削加工性	何宁等
-----------------	-----

过滤式阴极电弧沉积类金刚石薄膜的特性分析	左敦稳等 H
金刚石砂轮的 CO ₂ 脉冲激光修锐研究	左敦稳等 H
Effect of lap surface profile on lapping efficiency	左敦稳等 H
铁基金刚石节块冷压烧结的试验研究	刘奎等
铁基金刚石锯片的热压烧结机理初探	刘奎等 J
烧结工艺对铁基金刚石圆锯磨块特性的影响	刘奎等 H
Study on diamond - like carbon thin film by filtered Vacuum arc deposition	朱纪军等 H
过滤式阴极电弧沉积类金刚石薄膜的碳弧稳定性研究	朱纪军等 H
金属基复合材料激光诱发反应焊接研究	徐九华等 H
内螺纹冷挤压强化对高强度钢疲劳性能的影响	徐九华等 H
激光焊接传热过程的数值计算	徐九华等 H
Al/SiC 复合材料的准分子激光表面改性	梅胜敏等 H
真空等离子装置的改进设计	袁安富等 H
利用旧的真空热处理炉改造成真空等离子沉积装置	袁安富等 J
薄膜沉积中基片的清洗方法探讨	袁安富等 J
物理气相沉积法沉积类金刚石膜时触发电路的设计	袁安富等
低温渗硼层性能研究	黎向锋等 J
Ni - Mo 电沉积层的组成和结构	黎向锋等 H
块粒状低温渗硼层组织及性能研究	黎向锋等
Ni - Mo 合金电沉积层的 X - 射线光电子能谱研究	黎向锋等
电沉积条件对 Ni - Mo 合金成分及其形貌的影响	黎向锋等 J
硬质合金上金刚石膜的沉积	黎向锋等 J
工艺条件对金刚石膜粘附强度的影响	黎向锋等 J
一种新型磨具——砂盘制造工艺的研究	谢国治等 J
真空电弧沉积技术中的弧源设计	程仲元等 J
等离子喷涂压电陶瓷涂层的基础研究	张春明等 J
Sol - Gel TiO ₂ 薄膜的氮化研究	李亮等 J
缓进给磨削磨削液的加注方式	孙方宏等



断续缓磨射流冲击强化磨削弧区换热的实验研究	孙方宏等 J
磨削弧区射流冲击强化换热机理及其潜力初探	孙方宏等 J
缓进给断续磨削时射流冲击强化磨削弧区换热的实验研究	傅玉灿等 H
一种适于国内引进开发的新型超硬磨料砂轮	傅玉灿等 H
超硬磨料砂轮的演变与发展	傅玉灿等 J
单层超硬磨料砂轮制造技术新发展	陈雪梅等 H



五〇三教研室

UG13 环境下小型钛合金叶轮的造型方法

李卫东 朱剑英 吴洪涛

(南京航空航天大学机电工程学院 南京, 210016)

纪云 徐家森

(中国航空精密机械研究所 北京, 100076)

摘要 阐述了利用 UG13 平台, 对小型钛合金叶轮的造型方法。并且针对加工小型钛合金整体叶轮过程中变形和回弹的问题, 提出了在造型阶段就主动控制负余量的软件补偿方法。该造型及软件补偿方法在航空某型任务小型钛合金叶轮制造中得到应用。

关键词: 钛合金; 叶轮; 造型

中图分类号: V260.5

小型钛合金整体叶轮是航空某型任务中的关键零件。数控加工是国内外广泛采用的加工叶轮的方法。在 UG13 环境下, 可先用 Modeling 模块根据图纸设计要求造型, 再用 Manufacturing 模块自动生成粗、精加工程序。

根据中国航空精密机械研究所的经验, 对一个未加工过的新型叶轮, 编程、试切、修改程序、再试切, 要反复很多次。先用铝合金件试验, 主要由于铝合金便宜, 可用其检查程序是否正确, 刀具轨迹是否正确; 然后再用钢件, 因为铝合金的硬度偏低, 而钢的硬度与钛合金比较接近, 工艺特性较铝合金更接近钛合金; 最后才用钛合金件, 直到试验成功。

高精度、复杂型面的小型钛合金整体叶轮的加工, 目前面临着一系列亟待解决的技术难题, 其中之一是在加工过程中存在比较严重的弹塑性变形问题, 对于数控加工, 解决该问题的关键在于软件补偿。考虑到钛合金零件实际加工过程中存在变厚的因素, 常用的补偿方法是, 有意识地按适当的负余量来计算刀位轨迹, 使刀位轨迹切入叶型, 从而获得一定的补偿。

因为负余量是根据对不同材料、不同形状叶轮进行理论计算及以往经验提供, 并根据测量机检验的结果得到不断修正, 所以一个好的叶轮造型方法, 既要能造出完全符合图纸提供的形状、精度要求的叶轮, 又要能方便主动地在造型阶段就加入变化的负余量, 对叶轮加工中的变形和回弹进行软件补偿。

收稿日期: 1998-06-24; 修改稿收到日期: 1998-10-14

第一作者 李卫东 男, 讲师, 1966 年 10 月生。

1 叶轮的造型方法

小型钛合金叶轮示意图如图1所示,其叶片表面是直纹面,叶片圆柱截面展开面见图2(a),其中心线展开线弯曲部分的方程如下

$$x = 4.8299 \times 10^{-4} \times R_n \times y^{2.5} \quad (1)$$

R_n 为该圆柱截面半径。

用UG13造型的示意图见图3,具体步骤如下:

(1) 作圆柱1,并过圆柱的母线作切平面1。

(2) 在切平面1上根据叶片在该截面中心线展开线方程(1)作叶背轮廓展开线 l_{11} , 中心线展开线 l_{10} , 叶盆轮廓展开线 l_{12} 。

(3) 将 l_{11}, l_{12} 通过平面1缠绕到圆柱1上,形成空间曲线 A_1B_1, C_1D_1 。

(4) 作圆柱2,同样作出该圆柱截面上的叶背、叶盆轮廓线 A_2B_2, C_2D_2 。

(5) 分别以空间曲线 A_1B_1, A_2B_2 及 C_1D_1, C_2D_2 为导线作直纹面 $A_1B_1B_2A_2$ 和直纹面 $C_1D_1D_2C_2$ 。

(6) 根据图纸上的叶轮尺寸,分别用圆环面对圆柱2、直纹面 $A_1B_1B_2A_2$ 和直纹面 $C_1D_1D_2C_2$ 进行裁剪,即可生成单个叶片的叶轮。

(7) 把生成的单个叶片均布在裁剪后圆柱2的周围,即可生成如图1所示的叶轮。

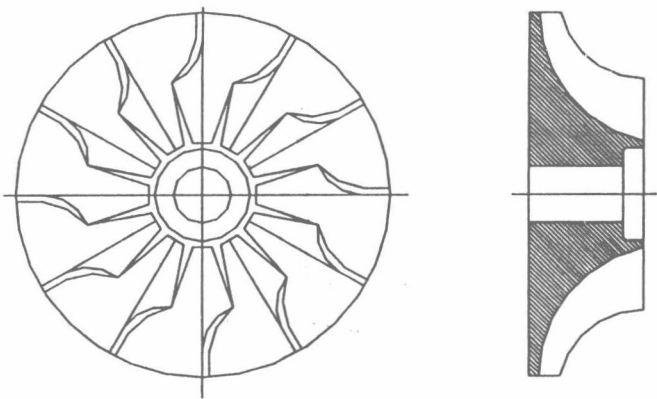


图1 钛合金叶轮示意图

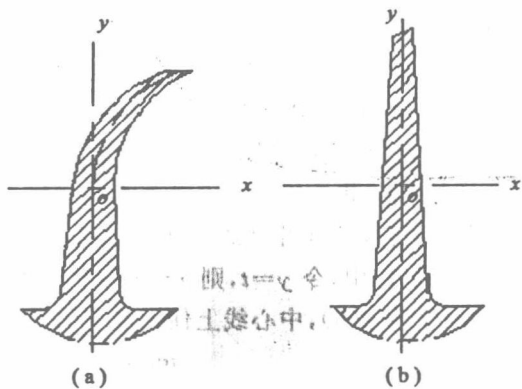


图2 叶片截面

2 圆柱截面上叶背、叶盆轮廓线的生成

图2(a)中叶片截面形状可以看成由图2(b)中截面形状变弯而成。中心线O点以上为变弯部分,中心线上的点沿法线方向到轮廓线的距离在中心线弯曲后保持不变。若用函数式直接表示叶背、叶盆轮廓线,则因为函数关系复杂,UG软件无法生成它们。通过先生成轮廓线上的离散点,再利用UG软件由离散点生成样条曲线的功能较好地解决了这一问题。叶背、叶盆轮廓线的具体生成方法如下:

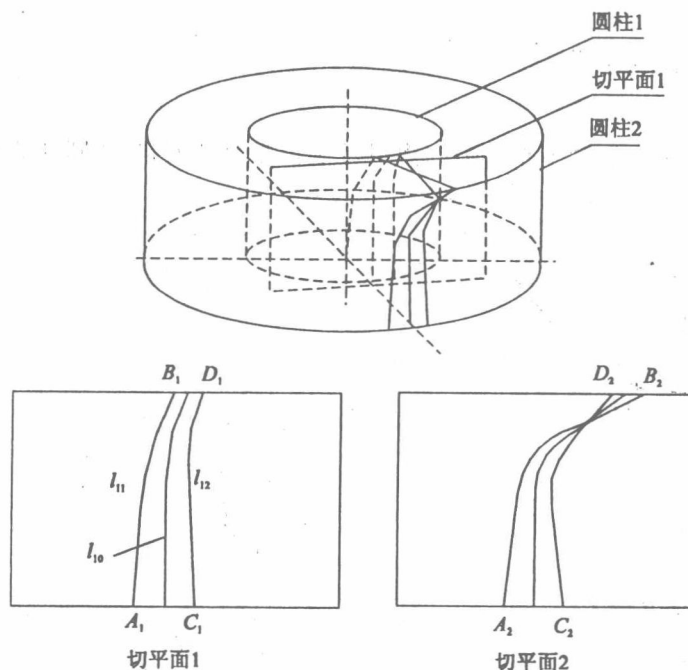


图3 叶轮造型示意图

(1) 根据式(1)对叶片圆柱截面中心线进行离散,形成离散点序列1。用三次B样条曲线通过离散点序列1对叶片圆柱截面中心线进行拟合。

(2) 由于(1)是人为地以等间距对中心线离散,所以需要根据精度要求对B样条曲线进行再一次离散,使得曲率大的地方离散点比曲率小的地方更稠密,求出拟合曲线上的离散点序列2。由离散点序列2生成的叶背、叶盆轮廓线比离散点序列1生成的轮廓线更精确。

(3) 用辛普森积分法求样条曲线上每一离散点距离原点O的长度 l 、样条曲线上该点沿法线方向距叶背和叶盆的宽度 w_1, w_2 。

在式(1)中,令 $y=t$,则 $x=k \times t^{2.5}$,其中 $k=4.8299 \times 10^{-4} \times R_n$ 。

对于图2(b),中心线上任一点 $P(x, y)$,在本叶轮中

$$w_1 = w_2 = w$$

$$w = w_0 - l \times \operatorname{ctg} \alpha$$

$$l = \int_0^t \sqrt{1 + (2.5 \times k \times t^{1.5})^2} dt$$

w_0, w, l, α 如图4所示。

(4) 求样条曲线上每一离散点处切线的方向导数 i_x, i_y

$$i_y = \frac{dy/dt}{\sqrt{(dx/dt)^2 + (dy/dt)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2.5 \times k \times t^{1.5})^2}}$$

$$i_x = \frac{dx/dt}{\sqrt{(dx/dt)^2 + (dy/dt)^2}} = \frac{2.5 \times k \times t^{1.5}}{\sqrt{1 + (2.5 \times k \times t^{1.5})^2}}$$

(5) 分别求出叶背、叶盆轮廓线上的离散点。

对于叶背

$$x_1 = x - i_y \times w$$

$$y_1 = y + i_x \times w$$

对于叶盆

$$x_2 = x + i_y \times w$$

$$y_2 = y - i_x \times w$$

(6) 把叶背、叶盆轮廓线上的离散点坐标以文件形式输入 UG13, 并由 UG13 生成叶背、叶盆轮廓线。

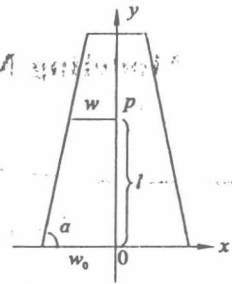


图4 叶轮参数

3 结 论

(1) 由复杂曲线上的离散点序列生成复杂函数曲线的方法,解决了 UG13 软件难以直接生成复杂函数曲线的问题。

(2) 在 UG13 环境下,上述方法已应用于直纹面类型叶轮的造型。并使造型过程大为简化。叶轮造型如图 5 所示。

(3) 除 UG 外,国外许多数控编程系统具备五坐标数控加工编程功能,有的还提供了整体叶轮造型、编程的专用模块。但是,购买这些软件的国内厂家,仍难以用它们直接生成合适的钛合金叶轮数控加工程序。原因之一是这些软件的编程理论、算法很少公开发表,很难针对叶轮加工中的变形和回弹进行软件补偿。本造型方法及叶背、叶盆轮廓线的生成方法使得在实际加工中,可以根据理论计算和测量机检验的结果以及以往经验,在造型阶段就有意识地适当改变长度和宽度的函数关系,通过改变走刀轨迹对叶轮加工中的变形和回弹进行软件补偿。

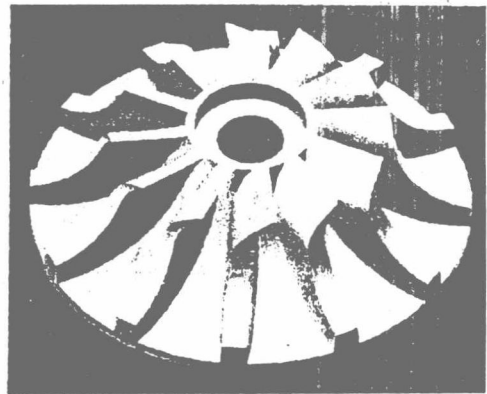


图5 叶轮造型

参 考 文 献

- 1 范炳炎编著. 数控加工程序编制. 北京:航空工业出版社, 1995. 156~157
- 2 苏步青,刘鼎元著. 计算几何. 上海:科学技术出版社, 1981. 121~140
- 3 周 政,李志明. 整体叶轮数控多轴加工. 航空精密制造技术, 1992
- 4 李企芳. 难加工材料的加工技术. 北京:科学技术出版社, 1992. 241~244
- 5 [美]摩滕森 ME 著. 几何造型学. 北京:机械工业出版社, 1992. 135~137

文章编号:1008-3499(1999)04-0003-04

新型三自由度并联机床及其运动学模型的建立

吴 展 李桥梁 骆海峰 吴洪涛* 朱剑英**

(南京航空航天大学 机电工程学院,江苏 南京 210016)

摘 要 提出了一种可实现三自由度平动的实用、新型并联机床机构,无需采用附加的平动机构,减少了干涉的可能。对其基础的运动学设计进行了研究,可用于指导实际的样机制作。

关键词 并联机床;运动学;三自由度平动

中图分类号 TH113.22 **文献标识码** A

0 前言

并联机床自90年代中期间世以来,发展极快。在1997年欧洲国际机床展览会EMO97上,就有美、英、德、瑞士、意大利等国展出10多台并联机床;从中我们可以看出并联机床今后的一些发展趋势:出现了卧式布局,改善了工件的可接近性,也改善了工作空间对机床所占的体积之比;六条腿与平台以及六条腿驱动多样化;出现了一系列六条腿的变型机构,其中以三条腿最为引人注目。

由于六自由度的并联机床存在建模困难,存在运动耦合,对元件及精度要求高等不足;而且在许多情况下用户并不需要六自由度机床,低于六自由度即可满足实际加工要求。为此,国内外对于少于六自由度的并联机床给予很大关注。我国东北大学以钢坯修磨为目的研制了一台新型机器人化三腿机床;把并联机床从六腿减为三腿,结构简单,运动学方程式简单,求解容易,便于进行实时控制;但是静、动平台之间需要一保持动平台平动的平动机构(如德国IFW,意大利COMAU等公司采用附加的平动机构来消除转动自由度),增加了平动机构与三条腿的干涉的可能,反过来影响了作业空间。本文从丰田型并联机床出发,通过设置其中的导轨和动平台的一些参数,提出了一种新型的三自由度并联机床;只需结构上保证同时驱动一对作动器,就可实现动平台三自由度平动,无需增加附加的平动机构,可有效地减少杆件之间的干涉,故其适用范围颇广;并给出了机床在该条件下的正解和反解及雅可比,为进一步

应用和设计奠定了理论基础。

1 新型三自由度的并联机床

文中的新形三自由度并联机床是基于丰田型并联机床之上的,该机床是近年来较为流行的六臂平台的一种选择方案,实际上可以视为“倒置式”的Stewart机构的运用,如图1所示。其工作空间较之于同体积的Stewart机构基本型要大;特别是直线驱动技术的应用,使得大量采用标准元件成为可能,所以很具有应用前景。

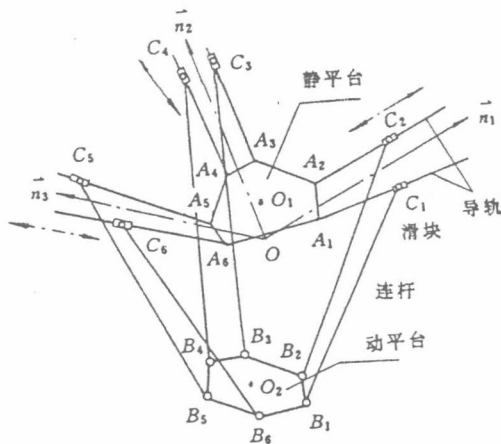


图1 丰田型并联机床机构示意图

Fig.1 The structure of Honda parallel manipulator

如图1所示: $O_1A_1A_2A_3A_4A_5A_6$ 为静平台, $O_2B_1B_2B_3B_4B_5B_6$ 为动平台; A_1C_1 , A_2C_2 , A_3C_3 ,

收稿日期:1999-09-17

* 南京航空航天大学机电工程学院副院长、教授、博士生导师

** 原南京航空航天大学校长、教授、博士生导师、国际生产工程学会(CIRP)会员

A_4C_4, A_5C_5, A_6C_6 为导轨, 分别沿对称轴 $\vec{n}_1, \vec{n}_2, \vec{n}_3$ 对称分布, 对称轴 $\vec{n}_1, \vec{n}_2, \vec{n}_3$ 交于 O 点; 其上相应的铰点为 $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$ 和 $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ 。

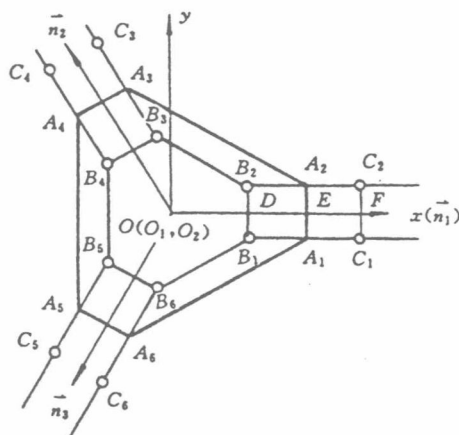


图 2 机床俯视图

Fig. 2 A vertical view of the manipulator

如图 2: 通过满足以下条件, 可以确保平台三自由度平动: 导轨两两平行, 即 $A_1C_1 // A_2C_2 // \vec{n}_1, A_3C_3 // A_4C_4 // \vec{n}_2, A_5C_5 // A_6C_6 // \vec{n}_3$; 且满足 $A_1A_2 = A_3A_4 = A_5A_6 = B_1B_2 = B_3B_4 = B_5B_6$; 同时, 滑块 C_1 和 C_2, C_3 和 C_4, C_5 和 C_6 , 两两同时驱动, 保持同步。文中的新型三自由度并联机构满足了以上条件的丰田型并联机床。

2 运动学方程

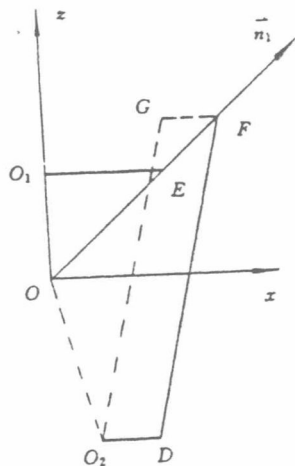


图 3 机床部分侧视图

Fig. 3 A lateral view of part of the manipulator

由图 3 所示: 将坐标系 xyz 设置在 O 点上。设动平台中心 O_2 在坐标系中的坐标 $\{x, y, z\}^T$ 。由图示关系, D, E, F 分别为 B_1B_2, A_1A_2, C_1C_2 的中点, 其中 E, F 在 $\vec{n}_1$ 上。由于 $C_1C_2 // B_1B_2$ 且 $C_1C_2 = B_1B_2$, 所以 DF 等于连杆长 l , 如图作平行四边形 O_2DFG 。

设 $O_2D = t_1, O_1E = t_2$, 滑块在 C_1 和 C_2 导轨上滑动的距离 $EF = \zeta_1$, 导轨与平面夹角为 β 。由几何关系有:

$$l = |DF| = |O_2G| =$$

$$\sqrt{[x - (\zeta_1 \cos \beta + t_2 - t_1)]^2 + y^2 + [z - (\zeta_1 \sin \beta + t_2 \tan \beta)]^2},$$

建立基本方程:

$$\begin{aligned} [x - (\zeta_1 \cos \beta + t_2 - t_1)]^2 + y^2 + \\ [z - (\zeta_1 \sin \beta + t_2 \tan \beta)]^2 = l^2, \end{aligned}$$

同理有:

$$\begin{aligned} \left[x + \frac{1}{2} (\zeta_2 \cos \beta + t_2 - t_1) \right]^2 + \\ \left[y - \frac{\sqrt{3}}{2} (\zeta_2 \cos \beta + t_2 - t_1) \right]^2 + \\ [z - (\zeta_2 \sin \beta + t_2 \tan \beta)]^2 = l^2, \\ \left[x + \frac{1}{2} (\zeta_3 \cos \beta + t_2 - t_1) \right]^2 + \\ \left[y + \frac{\sqrt{3}}{2} (\zeta_3 \cos \beta + t_2 - t_1) \right]^2 + \\ [z - (\zeta_3 \sin \beta + t_2 \tan \beta)]^2 = l^2, \end{aligned}$$

其中, $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ 分别为 C_1 和 C_2, C_3 和 C_4, C_5 和 C_6 在导轨上滑动的位移。

已知动平台 (x, y, z) 位置, 可以由基本方程求出滑块位移 $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$, 即求反解; 已知滑块位移 $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$, 由基本方程求出动平台中心位置 $\{x, y, z\}^T$, 即求出正解; 同时可以由基本方程求出雅克比矩阵, 即 $\{\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}\}^T = [J] \{\dot{\zeta}_1, \dot{\zeta}_2, \dot{\zeta}_3\}^T$ 。

(1) 由基本方程求反解:

设

$$\begin{aligned} b_1 = 2(t_2 - t_1) \cos \beta - 2z \sin \beta - \\ 2x \cos \beta + 2t_2 \sin \beta \tan \beta, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_1 = x^2 + y^2 + z^2 + (t_2 - t_1)^2 - 2x(t_2 - t_1) - \\ 2zt_2 \tan \beta + (t_2 \tan \beta)^2 - l^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_2 = x \cos \beta - \sqrt{3} y \cos \beta - 2z \sin \beta + \\ 2(t_2 - t_1) \cos \beta + 2t_2 \sin \beta \tan \beta, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_2 = x^2 + y^2 + z^2 + (t_2 - t_1)^2 + x(t_2 - t_1) - \\ \sqrt{3} y(t_2 - t_1) - l^2 - 2zt_2 \tan \beta + (t_2 \tan \beta)^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_3 = x \cos \beta + \sqrt{3} y \cos \beta - 2z \sin \beta + \\ 2(t_2 - t_1) \cos \beta + 2t_2 \sin \beta \tan \beta, \end{aligned}$$

$$c_3 = x^2 + y^2 + z^2 + (t_2 - t_1)^2 + x(t_2 - t_1) + \sqrt{3}y(t_2 - t_1) - l^2 - 2zt_2 \tan \beta + (t_2 \tan \beta)^2,$$

$$\text{则有} \begin{cases} \zeta_1 = -\frac{b_1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{b_1^2 - 4c_1} \\ \zeta_2 = -\frac{b_2}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{b_2^2 - 4c_2} \\ \zeta_3 = -\frac{b_3}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{b_3^2 - 4c_3} \end{cases}$$

$$\text{注: } \begin{cases} \zeta_1 = -\frac{b_1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{b_1^2 - 4c_1}, \\ \zeta_2 = -\frac{b_2}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{b_2^2 - 4c_2}, \\ \zeta_3 = -\frac{b_3}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{b_3^2 - 4c_3} \end{cases}$$

经验证不符合实际舍去。

(2) 由基本方程求正解:

已知滑块位移 $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$, 求动平台中心位置 O_2

$$\{x, y, z\}^T;$$

$$\begin{aligned} \text{令} \quad & m_1 = \zeta_1 \cos \beta + t_2 - t_1; \\ & l_1 = \zeta_1 \sin \beta + t_2 \tan \beta; \\ & m_2 = \frac{1}{2} (\zeta_2 \cos \beta + t_2 - t_1); \\ & n_2 = -\frac{\sqrt{3}}{2} (\zeta_2 \cos \beta + t_2 - t_1); \\ & l_2 = -(\zeta_2 \sin \beta + t_2 \tan \beta); \\ & m_3 = \frac{1}{2} (\zeta_3 \cos \beta + t_2 - t_1); \\ & n_3 = \frac{\sqrt{3}}{2} (\zeta_3 \cos \beta + t_2 - t_1); \\ & l_3 = -(\zeta_3 \sin \beta + t_2 \tan \beta); \\ & u_1 = m_2 - m_3; \quad v_1 = n_2 - n_3; \\ & w_1 = l_2 - l_3; \\ & p_1 = \frac{1}{2} (m_2^2 - m_3^2 + n_2^2 - n_3^2 + l_2^2 - l_3^2); \\ & u_2 = m_3 - m_1; \quad v_2 = n_3; \\ & w_2 = l_3 - l_1; \\ & p_2 = \frac{1}{2} (m_3^2 - m_1^2 + n_3^2 + l_3^2 - l_1^2); \\ & k_1 = \frac{w_2 v_1 - w_1 v_2}{u_1 v_2 - u_2 v_1}; \\ & b_1 = \frac{p_2 v_1 - p_1 v_2}{u_1 v_2 - u_2 v_1}; \end{aligned}$$

$$k_2 = \frac{w_1 u_2 - w_2 u_1}{u_1 v_2 - u_2 v_1};$$

$$b_2 = \frac{p_1 u_2 - p_2 u_1}{u_1 v_2 - u_2 v_1};$$

$$a_0 = k_1^2 + k_2^2 + 1;$$

$$b_0 = 2b_2 k_2 + 2(b_1 + m_1)k_1 + 2l_1;$$

$$c_0 = (b_1 + m_1)^2 - l^2 + l_1^2 + b_2^2.$$

$$\text{则有} \begin{cases} x = k_1(-b_0 \pm \sqrt{b_0^2 - a_0 c_0}) + b_1 \\ y = k_2(-b_0 \pm \sqrt{b_0^2 - a_0 c_0}) + b_2 \\ z = -b_0 \pm \sqrt{b_0^2 - a_0 c_0} \end{cases}$$

(3) 由基本方程求雅可比:

设

$$a_{11} = x - (\zeta_1 \cos \beta + t_2 - t_1);$$

$$a_{12} = x + \frac{1}{2} (\zeta_2 \cos \beta + t_2 - t_1);$$

$$a_{13} = x + \frac{1}{2} (\zeta_3 \cos \beta + t_2 - t_1);$$

$$b_{21} = y;$$

$$b_{22} = y - \frac{\sqrt{3}}{2} (\zeta_2 \cos \beta + t_2 - t_1);$$

$$b_{23} = y + \frac{\sqrt{3}}{2} (\zeta_3 \cos \beta + t_2 - t_1);$$

$$c_{31} = z - (\zeta_1 \sin \beta + t_2 \tan \beta);$$

$$c_{32} = z - (\zeta_2 \sin \beta + t_2 \tan \beta);$$

$$c_{33} = z - (\zeta_3 \sin \beta + t_2 \tan \beta);$$

$$d_1 = -x \cos \beta - z \sin \beta + \zeta_1 +$$

$$(t_2 - t_1) \cos \beta + t_2 \sin \beta \tan \beta;$$

$$d_2 = \frac{1}{2} x \cos \beta - \frac{\sqrt{3}}{2} y \cos \beta - z \sin \beta +$$

$$\zeta_2 + (t_2 - t_1) \cos \beta + t_2 \sin \beta \tan \beta;$$

$$d_3 = \frac{1}{2} x \cos \beta + \frac{\sqrt{3}}{2} y \cos \beta - z \sin \beta +$$

$$\zeta_3 + (t_2 - t_1) \cos \beta + t_2 \sin \beta \tan \beta;$$

$$dd = \begin{vmatrix} a_{11} & b_{21} & c_{31} \\ a_{12} & b_{22} & c_{32} \\ a_{13} & b_{23} & c_{33} \end{vmatrix},$$

雅可比矩阵为:

$$[J] = \begin{vmatrix} \frac{d_1}{dd}(-b_{22}c_{33} + b_{23}c_{32}) & \frac{d_2}{dd}(b_{21}c_{33} - b_{23}c_{31}) & \frac{d_3}{dd}(-b_{21}c_{32} + b_{22}c_{31}) \\ \frac{d_1}{dd}(a_{12}c_{33} - a_{13}c_{32}) & \frac{d_2}{dd}(-a_{11}c_{33} + a_{13}c_{31}) & \frac{d_3}{dd}(a_{11}c_{32} - a_{12}c_{31}) \\ \frac{d_1}{dd}(-a_{12}b_{23} + a_{13}b_{22}) & \frac{d_2}{dd}(a_{11}b_{23} - a_{13}b_{21}) & \frac{d_3}{dd}(-a_{11}b_{22} + a_{12}b_{21}) \end{vmatrix}$$

3 结束语

在丰田型并联机床基础上派生出的新型机构,实现了动平台的三自由度平动,避免了使用在保持三自由度平动并联机床设计中的平动机构,减少了杆件的干涉。这种机构数学建模较之于六自由度的Stewart机构要简单得多;同时具备了丰田型并联机床的优点:工作空间较大,直线驱动技术的使用,大量采用标准元件成为可能。所以,在实际应用中,采用它作为三自由度的机床机构,是很有意义的。

参考文献

[1] 骆海峰. 直线导轨定长连杆式 Stewart 机床仿真研究

- [D]. [硕士学位论文]. 南京:南京航空航天大学, 1999.
- [2] 蔡光起. 机器人化三腿磨削机床的研制[J]. 制造技术与机床, 1998, (10): 4~6.
- [3] 中国机床工具制造技术协会赴 EMO97GO 工作组. 六条腿机床取得重大进展[J]. 世界制造技术与装备市场, 1998, (1): 1~6.
- [4] Matthias Hebsacker. 用六条腿机床实现高效铣削[J]. 制造技术与机床, 1998, (10): 20~22.

作者简介:吴展(1975—),男,浙江金华人,南京航空航天大学机电工程学院硕士研究生,主要从事机电控制及自动化的理论与应用研究。

A Novel Three Degree of Freedom Parallel Manipulator and Its Kinematics

WU Zhan LI Qiao-liang LUO Hai-feng WU Hong-tao ZHU Jian-ying

(Institute of Mechanical and Electronic Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract A novel three degree of freedom parallel manipulator with only translational degrees of freedom is presented. The main advantage of this parallel manipulator is that it does not need any additional link structure to keep moving platform translational, which reduces the possibility of interference of links. Closed-form solutions for both the forward and inverse kinematics problems are developed, which can help to fabricate a prototype to demonstrate this manipulator.

Key Words parallel manipulator; kinematics; 3 d. o. f translation

(本文责任编辑:薄娜佳)

开放式数控系统——新一代 NC 的主流

Open Architecture CNC——Main Trend of New Generation NC

南京航空航天大学机电工程学院

游有鹏 董伟杰 张晓峰 王珉

[摘要] 在分析传统数控封闭体系结构固有不足的基础上,引入了开放式数控系统的概念,并对其技术特征和开放途径进行了探讨。简要介绍了国外开放式数控的研究动态,指出了开展开放式数控研究对国产数控技术进步的重要意义。

关键词: CNC 开放式体系结构 制造技术

[ABSTRACT] After analyzing the drawbacks of closed architecture CNC, this paper introduces the concept and characteristics of open architecture CNC. The approaches to implement open CNC are discussed and a brief survey is also given about the development in open CNC. Furthermore, it is pointed out that the researches on open architecture CNC is very important to our national CNC development.

Keywords: CNC Open architecture Manufacturing technology

计算机数控(CNC)系统作为制造形状复杂、高质量、高精度产品所必备的基础设备,已成为当今先进制造技术的一个重要组成部分。然而,现今市场上组成 CNC 系统(以 FANUC, SIEMENS 等为代表)的硬件模块和软件结构绝大多数是专用的、互不兼容的,系统各模块间的交互方式、通信机制也各不相同,这就造成了不同厂家控制系统的相对独立、彼此封闭。

随着技术的进步,市场竞争的加剧,这种专用体系结构的数控系统越来越暴露出其固有的缺陷。一方面,各控制系统间互连能力差,影响了系统的相互集成,风格不一的操作方式以及专用件的大量使用,不但使用户培训费用增加,还给数控设备用户(NC 系统的最终用户)带来很多不便;另一方面,系统的封闭性使它的扩充和修改极为有限,造成数控设备制造商(NC 系统中间用户)对系统供应商的依赖,并难以将自己的专门技术、工艺经验集成入控制系统并形成自己的产品特点,这将不利于提高主机产品的竞争力。此外,专用的硬、软件结构也限制了系统本身的持续开发,使系统的开发投资大、周期长、风险高、更新换代慢,不利于

航空制造技术

数控产品的技术进步。总之,数控系统的这一现状已不能适应当今制造业市场变化与竞争,也不能满足现代制造业向信息化、敏捷制造模式发展的需要。

1 数控系统开放的概念及途径

1.1 概念

研究开放式数控系统的主要目的是解决变化频繁的需求与封闭控制系统之间的矛盾,从而建立一个统一的可重构的系统平台,增强数控系统的柔性。通俗地讲,开放的目的就是使 NC 控制器与当今的 PC 机类似,系统构筑于一个开放的平台之上,具有模块化组织结构,允许用户根据需要进行选配和集成,更改或扩展系统的功能迅速适应不同的应用需求,而且,组成系统的各功能模块可以来源于不同的部件供应商并相互兼容。

事实上,基于上述指导思想的开放式数控系统也符合 IEEE 关于开放式系统的定义:能够在多种平台上运行,可以和其他系统互操作,并能给用户提供一种统一风格的交互方式。根据这一定义,开放式数控系统应具有以下基本特征:

(1)可互操作性。通过提供标准化接口、通信和交互机制,使不同功能模块能以标准的应用程序接口运行于系统平台之上,并获得平等的相互操作能力,协调工作。

(2)可移植性。系统的功能软件与设备无关,即应用统一的数据格式、交互模型、控制机理,使构成系统的各功能模块可来源于不同的开发商,并且通过一致的设备接口,使各功能模块能运行于不同供应商提供的硬件平台之上。

(3)档次皆宜性。CNC 系统的功能、规模可以灵活设置,方便修改,既可以增加硬件或软件构成功能更强的系统,也可以裁减其功能以适应低端应用。

(4)可互补性。指构成系统的各硬件模块、功能软件的选用不受单一供应商的控制,可根据其功能、可靠性及性能要求相互替换,而不影响系统整体的协调运行。

1.2 开放途径

如何使传统的专用型封闭式系统走向开放,不同的系统开发商及研究机构对此提出了一些解决方案。按开放的层次不同可分3种途径,它们的开放层次不同,难度不等,获得的开放效果也相差很大。如图1所示,虚线将控制系统划分为人机控制(Man-Machine Control, MMC)层和控制内核层两个层面。其中,控制内核是CNC系统完成实时加工过程调度和控制的核心部分,一般和系统实时性相联系。3种方式就是基于对这两个层面开放的不同处理来区分的。

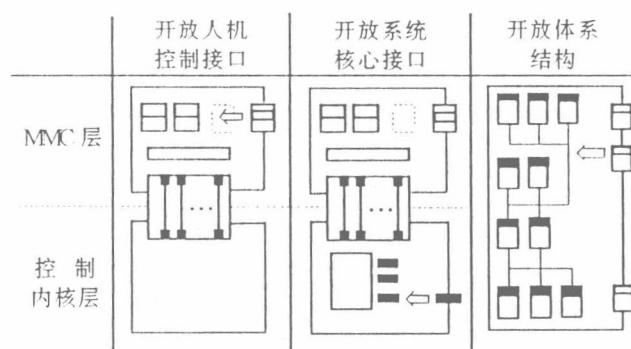


图1 控制系统的开放途径

Fig.1 Approaches to implement the open CNC

(1) 开放人机控制接口。

这种方式允许开发商或用户构造或集成自己的模块到人机控制接口(Man-Machine Interface, MMI)中。这一手段为用户提供灵活制定适用于各自特殊要求的操作界面和操作步骤的途径,一般使用于基于PC作为图形化人机控制界面的系统中。

(2) 开放系统核心接口。

此方式除了提供上述方式的开放性能外,还允许用户添加自己特殊的模块到控制核心模块中。通过开放系统的核心接口,用户可按照一定的规范将自己特有的控制软件模块加到系统预先留出的内核接口上。

(3) 开放体系结构。

开放体系结构的解决方案是一种更彻底的开放方案。它试图提供从软件到硬件,从人机操作界面到底层控制内核的全方位开放。人们可以在开放体系结构的标准及一系列规范的指导下,按需配置成功能可繁简、性能可高低、价格可控制、不依赖于单一卖方的总成系统。

从实现方法上,PC-NC(个人计算机数控)是目前比较现实的NC开放化的途径。也就是在PC机硬件

平台和操作系统的基础上,使用市售的软件和硬件插卡,构造出数控系统功能。但是,现有PC的操作系统缺乏实时性,可靠性尚有待提高。PC-NC主要可归纳为3种:NC板插入到PC中、PC板插入NC装置中、软件NC。NC板插入PC中的形式,就是将运动控制板或整个CNC单元(包括集成的PLC)插入到个人计算机的扩展槽中。PC机作非实时处理,实时控制由CNC单元或运动控制板来承担,这种方法能够方便地实现人机界面的开放化和个性化,即上述第1层次的开放;在此基础上,借助于所插入NC板的可编程能力,能部分实现系统核心接口的开放,即上述第2层次的开放。PC板插入NC中这一形式,主要为一些大型CNC控制器制造商所采用。其原因有两方面:一是许多用户对他们的产品很熟悉,也习惯使用;另一方面是控制器制造商不可能在短时间内放弃他们传统的专用CNC技术。因此,才出现了这种折中方案,其做法就是在传统的CNC中提供PC前端接口,使其具有PC处理的柔性。显然,这种系统的NC内核保持了原有的封闭性,故只能实现上述第1层次的开放。所谓软件NC,是指NC系统的各项功能,如编译、解释、插补和PLC等,均由软件模块来实现。这类系统借助现有的操作系统平台(如DOS, Windows等),在应用软件(如Visual C++, Visual Basic等)的支持下,通过对NC软件的适当组织、划分、规范和开发,可望实现上述各个层次的开放。

应该指出,将开放系统的概念引入CNC系统的发展需求中,表明系统走向开放的条件日趋成熟。然而,具有开放系统特征的开放体系结构CNC系统仍处在成长期,有关开放体系结构CNC系统科学、明确的定义及相应的规范标准尚处在进一步的发展完善中。

2 研究动态

控制系统的开放式结构的出现将导致新一代控制器的产生,并成为未来制造业的一大支柱。因此,欧美及日本各国都相继进行了大量研究工作,并出台了各自的开放式体系结构规范。

1989年,美国由政府资助的NGC(Next Generation Controller)研究计划,作为开放性结构控制器的标准提案受到了广泛关注。NGC与传统CNC的显著差别是它基于“开放体系结构”,其首要目标是开发“开放式系统体系结构标准规范”(Specification for an Open System Architecture Standard, SOSAS),此规范用来管理工作站和机床控制器的设计和结构组织。NGC计

划于1994年完成了原型研究,并转入了工业开发应用。例如,美国 Ford, GM 和 Chrysler 等公司在 NGC 计划的指导下,联合提出了 OMAC (Open Modular Architecture Controller) 开发计划。该计划定义了一个应用于汽车工业的开放、模块化体系结构控制器的规范,其硬件继承了 VME 系列的 VMS。尽管目前还不够完善,但由于“API 的接口层”的标准化,使用户能够充分发挥自己的主动性,从而可装入自己所需的独特功能;甚至可以装入 Windows OS, 将 CAM 等现有的 PC 机资源移植到控制器中;同时,利用实时数据库,可以实现数据的高效、便携化,具有极高的实用价值。实现 OMAC 的好处在于能减少投资和生产周期的费用,容易将市场化的通用技术与用户自身的专有技术融为一体,从而能高效地重构用于新程序的控制器,使得不断涌现的新技术能及时植入。

与 NGC 同步,日本一项面向 21 世纪制造产业的长期研究计划——智能制造系统 (Intelligent Manufacturing System, IMS) 也在讨论中,该项计划由日本工业界领导,同时,也与其他国家合作。1990 年,日本 IMS 中心成立。1994 年,历时 10 年的 IMS 计划日程表发表并开始启动,大部分计划都与先进制造系统与自动化相关,如多功能机床系统、敏捷制造系统、基于知识的人工智能表达式系统和智能监控系统等。这些计划对将来控制系统技术的发展将产生深远影响。同时,日本还启动了另一项开放系统计划——OSEC (Open System Environment for Controller) 计划。其主要内容是基于 PC 平台的开放式系统,宗旨就在于确定“不依赖于特定卖主的开放性控制器”的结构。这一计划由 3 家机床企业 (东芝机械、丰田工机、山崎) 与 3 家信息系统开发企业 (日本 IBM、三菱电机、SML) 发起,提出了控制器的分层模型,明确了各层次模块的功能、服务内容 & 接口规范。此外,还定义了一种新的 NC 语言——FADL 语言。目前,该组织已经发展到由 18 家公司和一家社团共同参与的致力于推进 CNC 系统开放化的协会。

面对国际市场的形势和制造业的发展趋势,欧洲采取的对策是:联合起来发挥各家的长处,积极吸收世界上各种新技术,开发满足世界市场尤其是亚洲市场的产品。要达到这一目的,首先要具有能容纳或联合各家技术的新型控制器。早在 1987 年 11 月,在德国机床厂联合会 (VDW) 的支持下,就曾由斯图加特大学的制造控制技术研究所以 (ISW) 对“未来控制技术”进行了研究,提出的新型控制器方案的原则为:可组配、模

块化和开放式。1991 年 10 月,一项涉及欧洲各国的控制系统计划 OSACA (Open System Architecture for Control within Automation System) 开始启动,它是欧洲各国的合作计划,立足于提高机床和控制系统制造商在世界市场中的竞争力。项目工期从 1992 年 5 月到 1996 年 5 月,历时 48 个月。其主要任务是制定一个与制造商无关的开放控制系统结构。OSACA 计划的成功将减少新产品的上市时间,提供更强的客户定制功能和柔性程度,减少了开发、维护、培训和文档建立的费用。

3 结束语

采用开放式控制系统结构对数控系统的生产厂家和用户都有好处。对于控制系统生产厂家,他们可在共同的标准平台上建立广泛的合作,实现协作式开发,大大缩短了系统的开发周期,降低了成本,增强了产品竞争力;对于机床生产厂,不仅可以根据需要配置最合适的控制系统,还可将自己独特的软件集成到系统控制器,形成自己的产品特色;最终用户可以说是开放式控制系统的最大受益者,他们可以最大限度地按照自己的需要选择产品,配备合适的功能部件,实现系统的集成和扩展,同时,开放也使系统的操作、维护更为方便。此外,控制器的结构开放性也为数控技术能持续不断地吸收日新月异的计算机硬软件最新成果创造了条件,有利于数控产品自身的更新换代,提高性能,增强竞争力。这也正是开放式 NC 控制器之所以被各发达国家视为重要的战略技术、纷纷投入研究的重要原因。

我国是一个机床生产和应用大国,但数控技术的应用水平还不高,严重制约着我国制造业水平的提高。国际上的相关开发计划对我国的数控技术的发展提出了严峻的挑战,同时也带来了机遇。首先,开放系统计划的实施,把世界上所有系统开发商推到了同一起跑线上。在这个起跑线上,我们可以建立以国际采购为思路的系统集成开发之路,为我国制造高性能、高可靠性 CNC 系统创造条件;其次,通过一致的编程应用界面,容易形成自己的集成方案,进一步减小对卖方市场的依赖性。此外,随着开放系统计划的实施,统一开发平台的建立,将来 CNC 系统的高技术附加值将主要体现在软件上,为我国发展民族软件产业创造了一个良好的契机。我们应充分把握机会,扬长避短,迎头赶上,研制出适合我国国情的新一代国产高性能 CNC 控制器。

(下转第 49 页)