

# 超精密车床进给系统两 座标双重定位技术

王世民 李圣怡 朱建忠 解旭辉

(国防科技大学 机电工程与仪器系,长沙 410073)

**摘要** 超精密车床进给系统普遍存在大行程与高精度之间的矛盾,研制出动、静态特性好、行程大、精度高的进给系统是当前超精密加工亟需解决的关键技术之一。本文提出了一种新原理及实现方法,即综合利用计算机、动态检测、信号处理、控制理论、传感器、微位移技术等,将精确进给量分解成主进给量和补偿进给量两部分,分别进行协调连续控制。从而解决大行程与高精度之间的矛盾。利用该技术,能使普通进给系统定位精度提高十多倍,同时又大大扩大了进给微系统的行程。

**关键词:**超精密车床;双重定位;模型预测

## 1 前 言

国防工业、计算机、电子工业和航天航空工业的发展,是以超精密测量和超精密加工为其技术支柱的。在机械加工领域中,超精密加工是一个国家技术水平的标志,超精密金刚石切削车床开发技术是其中有代表性的技术之一。美、日、德等国投入大量人力、物力、财力发展自己的超精密加工技术。国外超精加工技术的开发大体上分为下列几个阶段<sup>[1]</sup>:六十至七十年代称为微米级加工技术时代,开发重点是在批量生产线上实现(1~10) $\mu\text{m}$ 范围的加工精度;现在是所谓亚微米级加工技术时代,在批量生产线实现(0.1~0.7) $\mu\text{m}$ 范围的加工精度;到本世纪末,超精密加工技术的目标是 $10^{-9}\text{m}$ 的加工精度。

近几年来,超精密加工技术有了飞速的发展,在不断地向更高精度挑战的同时,开发大型工件的超精加工技术及相应的大型超精密机床(如美国的 Lawrence Livermore National Laboratory 在1984年研制成功84'超精密金刚石车床,用于加工大口径反射镜)。大尺寸零件复杂形状表面(如金属反射镜高次曲线表面)加工要求超精密车床系统具有大行程的同时,又具有较高的精度。

超精密车床进给系统大行程、高精度、高动态品质之间是普遍存在矛盾的。如德国 KUGLER 公司的空气轴承飞刀切削车床 F300/1000 的  $x$  轴的行程为 1000mm,运动精度为  $0.25\mu\text{m}/100\text{mm}$ ;  $z_1$  轴行程为 350mm,运动精度为  $0.02\text{mm}/100\text{mm}$ 。又如国防科大机电工程与仪器系研制的压电陶瓷车削微量进给装置重复精度  $0.1\mu\text{m}$ ,进给范围为  $20\mu\text{m}$ <sup>[2]</sup>。

为解决上述矛盾,我们采用两坐标双重定位技术,将精确的进给量分解成主进给量和补偿进给量两部分。通过由双频激光干涉仪定位的气浮导轨滚珠丝杠传动装置和由多路数字电容式微位移传感器定位的两坐标压电陶瓷微动装置,实现相对运行的大行程(320mm×320mm)及高精度(重复定位精度 0.1μm)目标。

## 2 两坐标双重定位系统工作原理

所谓两坐标是指超精密车床加工工件时径向和轴向两个坐标;所谓双重定位,是指大行程的粗定位和小行程的精定位。两坐标双重定位技术的应用范围是很广的,作为对其原理的阐述,以金属反射镜高次曲面加工工艺为例说明其工作原理。

随着材料科学的发展和加工工艺的提高,有色金属材料反射镜在激光技术及宇航技术上得到推广应用。在民用方面,照相机镜头加工时需要金属模型,科学的发展对反射镜曲面形状要求由过去的一次曲面、二次曲面,发展到现在的三次或更高次曲面。因而,反过来,对其加工工艺又提出了更高的要求。

图 1 是金属反射镜加工原理图,在以“T”型轴布置 CNC 金刚石车床上加工。高次曲面(图中虚线所示)是以主轴的传动及  $x$ 、 $z$  两轴向的进给运动形成的。我们将  $x$ 、 $z$  两轴向的进给运动分为主进给运动和补偿进给运动两部分,以提高工件的尺寸及形状精度。整个进给运动由下式表示:

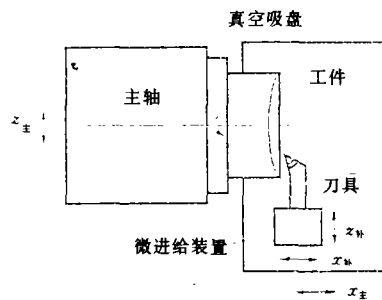


图 1 金属反射镜加工原理图

图 2 是金属反射镜高次曲面加工原理简图。(a)是要求加工的理想形状。(b)是没有采用两坐标双重定位技术时,即只采用主进给运动时加工出的曲面形状,显然由于主进给运动定位精度较低,工件尺寸误差及形状误差均比较大。(c)是采用于双重定

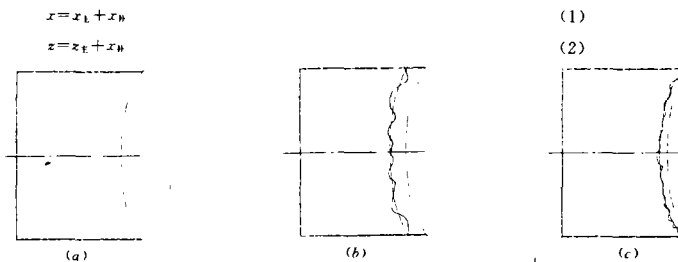


图 2 金属反射镜高次曲面简图

位技术,利用双频激光干涉仪及电容传感器检测刀尖的位置(见后文)。计算机根据刀尖位置与理想曲线上与之最近点的误差输出一个补偿控制信号,控制补偿进给运动,从而减小形状及尺寸误差,如图所示。

### 3 两座标双重定位系统的组成

图 3 是超精密车床两座标双重定位系统的组成简图。该车床采用“T”型轴布置,  $x$ 、 $z$  两方向上的主进给系统由矢量控制电机驱动, 以滚珠丝杠、气浮导轨为运动传动系统, 并由双频激光干涉仪监测其运动位置。补偿进给系统是一个两座标压电陶瓷微进给装置, 由数字电容式微位移传感器监测其相对运动位置, 进给运动由式(1)、(2)表示。

其中作为粗定位的矢量控制电机高速定位系统定位精度为  $1\mu\text{m}$ , 行程范围为  $320\text{mm} \times 320\text{mm}$ 。我们采用不同频率的正弦信号驱动电机, 利用 DSP 与计算机相结合, 对系统进行动态参数测试, 建立系统的动态模型。

而作为精定位的两座标压电陶瓷微位移装置定位精度为  $0.1\mu\text{m}$ , 行程范围为  $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ 。采用柔性铰链结构, 使两座标进给互扰减小, 并在结构上使检测装置、微量进给机构、对刀机构和金刚石车刀一体化。图 4 是该系统的控制简图

进给系统的两座标双重定位系统的定位控制技术, 我们采用了模型预测控制技术(MPC)这一先进控制技术是国外自七十年代以来发展的一类用被控对象的方波或阶跃响应的有限序列为模型, 预测多步输出并使系统性能指标优化的计算机控制算法, 其特点是无需系统的精确数学模型, 从而减少在系统建模上所花的代价。应用仿真表明, 其优于传统的 PID 控制和基于精确数学模型的最优控制, 并具有良好的静、动态性能。

为了提高整个系统的快速响应性, 整个控制算法均在数字信号处理机 TMS320C25 上实现。从而有效地解决整个系统的快速性与准确性之间的矛盾。

### 4 结 论

通过对超精密车床进给系统两座标双重定位技术的研究表明, 此技术能成功地解决大行

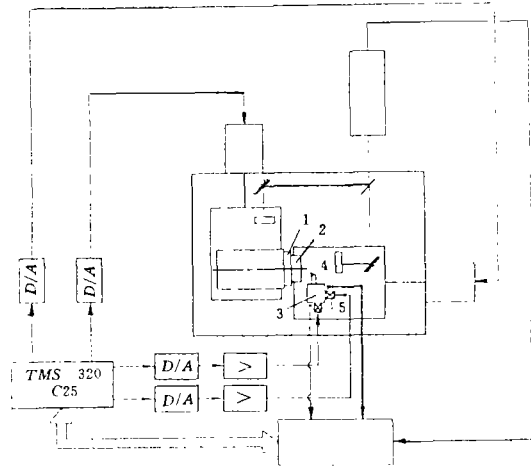


图 3 系统组成

- 1—真空吸盘; 2—工件; 3—微进给装置
- 4—数字式电容传感器; 5—压电陶瓷

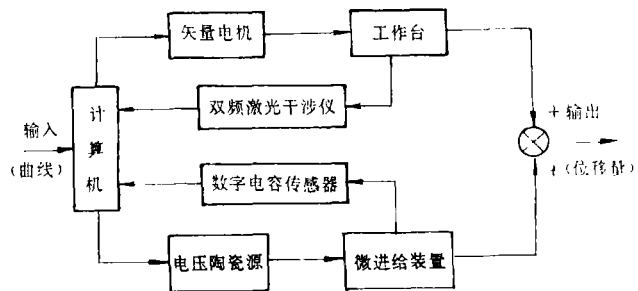


图 4 系统控制简图

程与高精度之间的矛盾以及控制技术上快速性与准确性之间的矛盾,有效地解决了我们目前亟需解决的一系列关键问题。文章提出的原理和实现的方法,对进一步提高超精密加工的加工范围和精度具有广阔的应用前景。

#### 参 考 文 献

- [1] 欧阳昌宇、吴敏镜、袁洪祥,超精密加工技术的发展及对策. 中国机械工程学会三十五周年年会论文
- [2] 王世民、李圣怡、王浩藩,压电陶瓷车削微进给装置.《航天工艺》
- [3] 李嗣福,《模型预测控制及应用》. 中国科技大学

## Two Coordinate and Dual Positioning Technology Research in Feed System of Ultra-Precision Lathe

Wan Shiming, Li Shenyi, Zhu Jianzhong and Xie Xuhui  
(*National University of Defence Technology, Changsha 410073*)

#### Abstract

The high accuracy is commonly in conflict with the large-stroke in the feed system of Ultra-precision lathe, so one of the key technologies in presently Ultra-precision machining is to develop a kind of feed system with better dynamic and stationary characteristic, large-stroke and high accuracy.

This paper contributes a new kind of principle and its practical method. It comprehensively utilizes computer technology, dynamic detection, signal processing, control theory, sensor and micro-displacement technologies etc. to divide the accurate feed into two parts: master feed and compensation feed. The two parts are harmoniously continuously controlled respectively. This method effectively solve the contradiction between the large-stroke and high accuracy. The technique can increase the positioning accuracy of common feed system by ten times and enlarge the stroke of the micro-feed system.

**Key words:** Ultra-precision lathe, Dual positioning, MPC