

内渐进多焦点镜片数控车床系统研究

黄海滨 郭隐彪 谢书童 张世汉

(厦门大学机电工程系, 福建 厦门 361005)

摘要 研制了一套内渐进多焦点镜片(PAL)数控(NC)车床系统,车床系统通过采用带双 CPU 的开放式结构和音圈电机来实现高精密车削加工。通过对其三轴电机运动进行比例-积分-微分(PID)参数调整和误差补偿,该闭环系统的定位精度为 $1\ \mu\text{m}$,重复定位精度为 $2\ \mu\text{m}$ 。将内渐进多焦点镜片型面区分成“视近”、“视远”、“像差”和“渐变”4个区域,依次提出与其相适应的数学表述,并在此基础上开发内渐进多焦点镜片型面数据处理软件,实现内渐进多焦点镜片型面的软件离线插补,为镜面加工提供刀具控制数据。

关键词 光学制造;内渐进多焦点镜片;音圈电机;定位精度;成型方法;刀具控制数据

中图分类号 O436

OCIS 120.4640 120.4570

文献标识码 A

Research on Numerical Control Lathe System of Interior Progressive Addition Lenses

Huang Haibin Guo Yinbiao Xie Shutong Zhang Shihan

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

Abstract An interior progressive addition lens (PAL) numerical control (NC) lathe system was designed. A double-CPU structure and a voice coil motor were used to realize high-precision lathe machining. By adjusting the proportion-integral-differential (PID) parameter for all the three-axis motor, taking the closed-loop control technique and error compensation, we limit the positioning accuracy to $1\ \mu\text{m}$ and the repetitive positioning accuracy to $2\ \mu\text{m}$. The shaping method of the interior PAL with NC turning was studied, and the lens profile was divided into four regions, near vision, far vision, astigmatism and gradation. The corresponding mathematical expressions were proposed. Based on these, we developed an interior PAL's profile data processing software, realized the interior PAL profile software off-line interpolation, and provided cutting tool control data for the mirror surface processing.

Key words optical fabrication; interior progressive addition lens; voice coil motor; positioning accuracy; shaping method; cutting tools data

1 引言

据估计,中国的老视患者将于2010年突破3亿^[1],而且由于生活水平的不断提高,人们对老视镜片的性能要求也越来越高。传统的单光镜、双光镜和三光镜已无法满足人们的要求,渐进多焦点镜片的出现无疑给老视镜片带来了革命性的改进。渐进多焦点镜片对于任意距离处的物体都能得到最舒适的视力,且能有效减小配戴者脸部轮廓变形,配戴效果自然美观。其中,内渐进多焦点镜片(PAL)因为视角宽广,可实现个性化设计而备受欢迎。

目前,发达国家内渐进多焦点镜片的生产销售已经占整个老视镜片销售市场40%^[2],并且这个比例还在继续增长。在国内,渐进多焦点镜片还只处于设计与评价阶段。开展有关内渐进多焦点镜片的研究工作,无论是在工程上,还是在经济利益上都具有重大意义。本文设计了一套开放式数控车床系统,实现内渐进多

收稿日期:2009-04-16;收到修改稿日期:2009-07-09

基金项目:国家863计划重点项目(2008AA042501)资助课题。

作者简介:黄海滨(1983-),男,博士研究生,主要从事数控系统和精密加工方面的研究。E-mail:hhb_45@163.com

导师简介:郭隐彪(1960-),男,教授,博士生导师,主要从事精密、超精密加工,光机电一体化等方面的研究。

E-mail: guoyb@xmu.edu.cn

焦点镜片的加工,并对三轴电机进行比例-积分-微分(PID)调整和误差补偿,设计快刀微进给机构,并测试其运动性能;分析内渐进多焦点镜片型面并研制内渐进多焦点镜片型面数据处理软件,为镜面加工提供刀具控制数据。

2 内渐进多焦点镜片车床系统硬件设计

开放式数控系统已成为数控系统发展趋势,是计算机硬件技术、信息技术、控制技术融入数控技术的产物,它具有强大的适应性和灵活配置能力,能适应各种数控设备^[3,4]。

数控车床系统采用了基于上位机-下位机的双 CPU 开放式数控系统,上位机为计算机,主要完成网络通信、图形编程和人机界面处理等非实时任务;下位机为 GALIL 运动控制器,主要承担实时性任务,如运动轨迹生成、可编程逻辑控制三轴联动控制等。系统运行速度快、控制精度高、开发周期短。系统的硬件控制结构如图 1 所示。渐进镜片车床为三轴联动,分别由 3 个电机控制,以完成复杂镜片曲面的车削加工^[5]。加工过程中,镜片绕 z 轴旋转,同时切削刀具可沿 z 轴作快速的振动式运动,并能沿 x 轴前后直线运动,从而实现对整个面的加工,如图 2 所示。

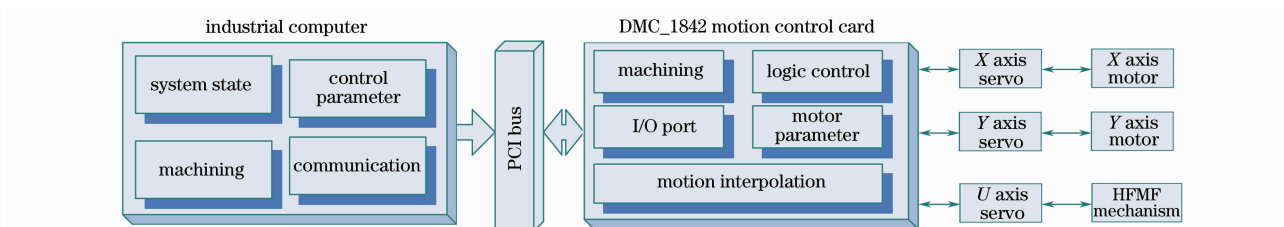


图 1 控制系统架构

Fig. 1 Structure of the control system

PC 机通过 PCI 总线与运动控制卡进行通信。GALIL_1842 运动控制卡可同时控制 1~4 个轴,既可以单独执行存储于其内部的程序,也可执行运动程序和 PLC 程序,并可以通过 GALIL 提供的 WSDK 软件与上位机进行通信。控制卡的采样频率达到 12 MHz,完全满足系统车削加工的要求。

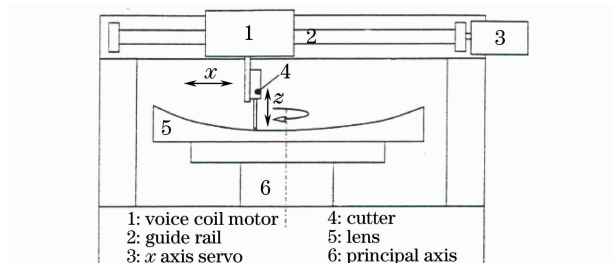


图 2 镜片加工示意图

Fig. 2 Schematic diagram of lens machining

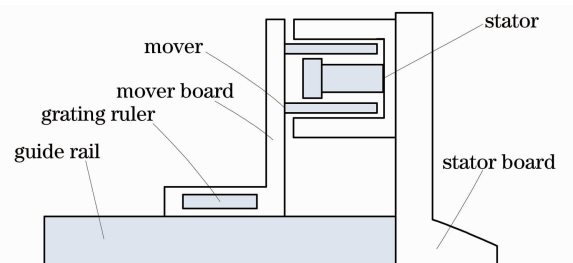


图 3 快刀微进给机构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the micro-feed mechanism

内渐进多焦点镜片表面为复杂自由曲面,传统的切削加工方法已经无法满足复杂面形和微小位移的精密高效加工^[6]。如图 3 所示,本文设计了以美新 VLR0980-0249-00A 型音圈电机(VCM)为驱动装置的快刀微进给机构,进给行程 2 mm,电机主要参数如表 1 所示,实验表明,在一定的微位移过程中,本机构具有持续推力大、速度和加速度高等优点。通过 PID 参数调整和运动精度调试,既能够实现内渐进多焦点镜面加工所需要的高频响,也能满足加工高陡复杂镜面所需的高加减速。

表 1 VLR0980-0249-00A 型音圈电机主要参数表

Table 1 Main parameters of VLR0980-0249-00A VCM

Weight /kg	Peak force /N	Continuous force /N	Inductance /mH
10.79	980	605	6.3

3 实验

3.1 PID 参数调整

PID 控制的控制规律为

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right], \quad (1)$$

式中 K_p 为比例系数, T_i 为积分时间常数, T_d 为微分时间常数, 它们是 3 种校正环节对应的控制参数。

系统中, PC 侧的 CME2 软件在完成基本参数设置后, 本文在两种不同操作模式下进行 PID 参数的设置, 以此评价参数设置的合理性。

1) 操作模式为电流环模式, 给音圈电机发送正弦波指令, 设定电流值为 0.5 A, 频率 5 Hz。

2) 操作模式为速度环模式, 给音圈电机发送双向脉冲波, 设离散速度值为 -30 mm/s, 运动时间为 20 ms。

通过多组曲线对比可得, 在 $K_p=400$, $T_i=1000$ 的情况下, 音圈电机的实际值(白色曲线)和指令值(绿色曲线)取得较好拟合, 如图 4 所示。

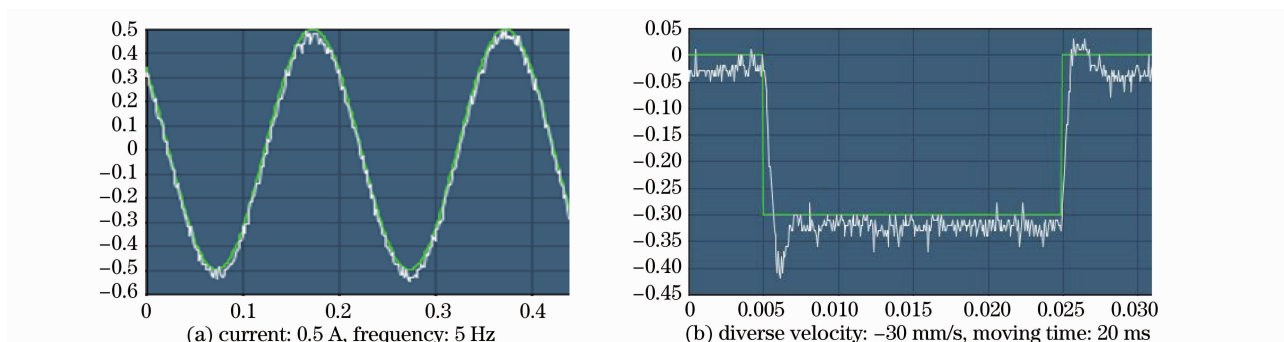


图 4 快刀轴 PID 参数调试

Fig. 4 Adjustment of sharp axis PID parameters

3.2 快刀微进给机构的性能测试与分析

对快刀微进给机构的定位精度和重复定位精度进行了测试, 测试仪器选用 IDTS-4516U 100K-16bit-16CH 通道数据采集器, 可以实现高可靠性、多点的数据采集。通过激光位移传感器采集快刀轴的位移量, 动态性能好, 精度可达 10 nm。首先, 让快刀微进给机构在 1 mm 运动范围内以 20 mm/s 的速度做匀速运动; 然后把这段 1 mm 位移量 10 等分, 提取 11 个等分点的误差值; 往复运动 3 个循环(即 6 个行程), 从而得到相对应的 6 组误差数据; 最后, 应用 DasView2.0 软件进行数据处理, 求出定位精度和重复定位精度。如图 5 所示, 通过数据处理, 剔除奇异点后得快刀微进给机构的定位精度为 $1 \mu\text{m}$, 重复定位精度为 $2 \mu\text{m}$ 。

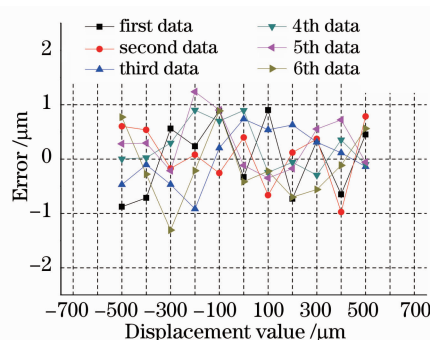


图 5 快刀微进给机构的运动误差

Fig. 5 Motion error of micro-feed mechanism

4 内渐进多焦点镜片型面成型方法

渐进多焦镜片通过镜片曲率从视远区向视近区逐渐增大实现附加度, 从而使老视者能获得从远到近连续清晰视觉, 实现不同距离的屈光矫正。渐进多焦镜片可分成 4 个区域, 如图 6 所示。视远区矫正视远的屈光不正; 渐变区是一个曲率逐渐增加的区域, 实现屈光度连续增加; 视近区矫正视近的屈光不正; 像差区为镜片像差较严重的区域^[7,8]。

4.1 镜片型面的数学表述

渐进多焦镜片的渐进面有多种设计方式, 由于文献[9]的设计能满足普遍的用户需求, 因此本文采用该设计方法。首先确定子午线的屈光度的变化方式, 然后根据曲面函数平滑渐变的判据生成渐进面的表面形状。子午线 $r(u)$ 可依据

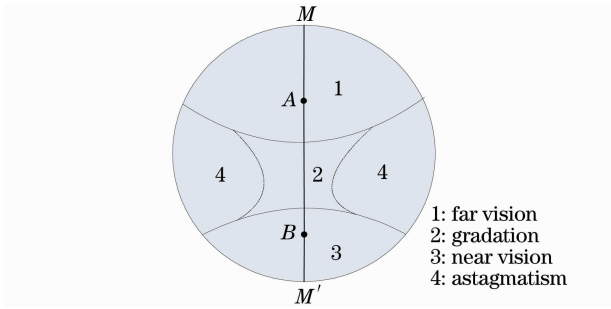


图 6 镜片内表面分区

Fig. 6 Partition of lens inner surface

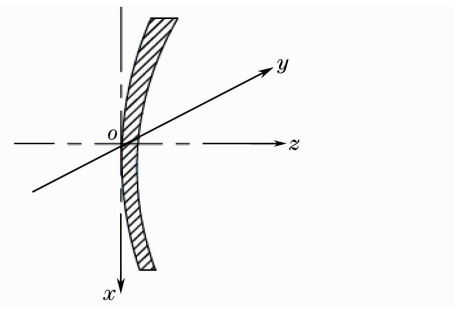


图 7 镜片在 xoz 平面上横截面图

Fig. 7 Lens cross-section in xoz plane

$$\frac{1}{r(u)} = \frac{1}{r_D} + \left(\frac{1}{r_R} - \frac{1}{r_D}\right) \sum_{n=1}^n c_n (u + L)^n \quad (2)$$

确定。式中 r_D 为视远区参考点 A 的曲率半径, r_R 为视近区参考点 B 的曲率半径, c_n 为待定系数^[10]。子午线的曲率变化一般是非线性的。

确定子午线后,可生成渐进面型的面形状。如图 7 所示,镜片内型面上任意点的矢高表达式为

$$z = f(x, y) = \zeta(u) - \{r(u)^2 - [x - \xi(u)]^2 - y^2\}^{1/2}, \quad (3)$$

式中

$$\xi(u) = u - r(u) \sin \theta(u), \quad (4)$$

$$\zeta(u) = r(u) = \cos \phi(u) + \int_0^u \tan \phi(u) du, \quad (5)$$

$$\sin \phi = \int_0^u \frac{du}{r(u)}, \quad (6)$$

$$u = \frac{h}{2} - L + g - (\text{sgn } p)(g^2 - h^2/4)^{1/2}, \quad (7)$$

$$g = \frac{1}{2} \left(p + \frac{y^2 + h^2/4}{p} \right), \quad p = x - \frac{h}{2} + L. \quad (8)$$

4.2 型面数据处理软件

为了解决内渐进多焦点镜片数控车床系统的实时性和加工精度问题,应用上述成形方法开发镜片型面数据处理软件,其功能模块划分如图 8 所示。本数据处理软件的核心是型面描述和误差补偿模块。把它们从数据输入等模块中分离出来,可以降低与软件界面的耦合度,增强可扩展性。本软件应用于主从式上下位机的数控系统,安装在上位机中,实现内渐进多焦点镜片型面的软件离线插补。用户只需输入内渐进多焦点镜片数据,经过拟合插补处理后,生成刀具数据文件,传至下位机,就可以进行内渐进多焦点镜片加工控制。镜片车削成形的加工轨迹是从内到外一圈一圈地车削。为了提高加工效率和数控系统的响应,车削镜片所需的刀具数据都要预先进行插补运算,本文采用等精度割线逼近算法插补镜片曲线,如图 9 所示。在图中,

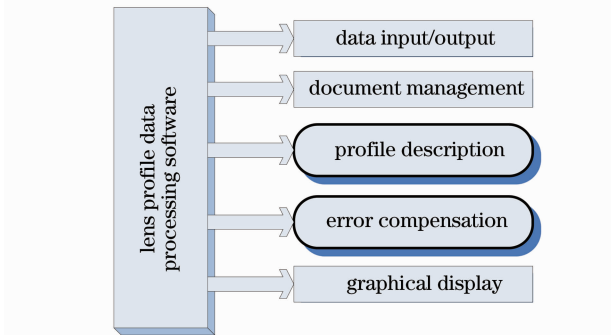


图 8 型面数据处理软件功能模块

Fig. 8 Function module of profile data processing software

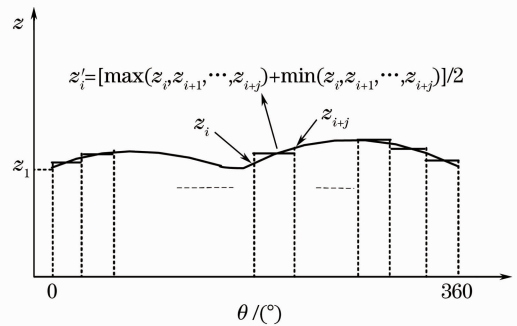


图 9 镜片旋转一周的插补过程

Fig. 9 Interpolation process of lens in a period

把镜片旋转一周所要加工的曲线按角度($0\sim 360^\circ$)展开,利用割线去逼近镜片的曲线,割线逼近可以减少微直线段数量,即插补次数。算法产生两个控制量:旋转角和刀具进给,用于实现车刀的运动控制。

5 结 论

设计的内渐进多焦点镜片数控车床系统可以很好地满足镜片加工的高精密要求。采用基于上位机-下位机的双CPU开放式数控系统,具备运行速度快、控制精度高等优点。设计的快刀微进给机构定位精度为 $1\ \mu\text{m}$,重复定位精度为 $2\ \mu\text{m}$,可满足内渐进多焦点镜面加工所需要的高频响和高精度。针对镜片车削加工开发了镜片型面数据处理软件,为镜片内表面加工提供了可靠的刀具控制数据。

参 考 文 献

- 1 Hu Zhenglin. Practical Research of Progressive Glasses[M]. Beijing: Military Medical Scientific Publishing House, 2004
呼正林. 实用渐进眼镜学[M]. 北京: 军事医学科学出版社, 2004
- 2 Wei Jianjian, Wu Feng, Shen Weimin. Design and evaluation of progressive addition spectacle lenses[J]. *Optical Technique*, 2003, **29**(3): 350~353
韦剑剑, 吴 锋, 沈为民. 渐变眼镜片的设计及评价[J]. 光学技术, 2003, **29**(3): 350~353
- 3 Sungsik Park, Sun-Ho Kim, Hyunbo Cho. Kernel software for efficiently building, re-configuring, and distributing an open CNC controller[J]. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2006, **27**(7-8): 788~796
- 4 Jun Hu, Hong Shen, Shuishen Zeng. B-spline tool offset of a free-form curve in the shoe last high-speed machining CNC system[J]. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2006, **26**(9-10): 864~869
- 5 Junxi Bi, Tao Yu, Qiang Li. Special CNC Based on Advanced Controller, IFIP International Federation for Information Processing, Knowledge Enterprise: Intelligent Strategies in Product Design, Manufacturing, and Management, 2006
- 6 Wu Nanxing, Sun Qinhong. Research on the feed system of linear motor and high speed-high precise CNC machine [J]. *Manufacturing Automation*, 2003, **25**(10): 46~48
吴南星, 孙庆鸿. 直线电机与高速精密数控机床进给系统的研究[J]. 制造业自动化, 2003, **25**(10): 46~48
- 7 Qin Linling, Yu Jingchi. The process of interior progressive addition lens[J]. *Optical Technique*, 2008, **34**(1): 136~140
秦琳玲, 余景池. 内渐进多焦点镜片的加工[J]. 光学技术, 2008, **34**(1): 136~140
- 8 Quanying Wu, Lin Qian, Yujing Chi *et al.*. Design for progressive addition lenses[C]. *SPIE*, 2007, **6722**: 67220C
- 9 John T. Winthrop, Wellesley, Mass. Progressive addition spectacle lens: US, 4861153[P]. 1989-08-19[2009-02-10]
- 10 Yuki Shitanoki, Akihiro Tagaya, Yasuhiro Koike. Application of graded-index for astigmatism reduction in progressive addition lens[J]. *Appl. Phys. Express*, 2009, **2**(3): 032401