

高精度非球面制造系统控制软件的设计

黄浩, 郭隐彪, 谢仁宁

(厦门大学机电工程系, 福建 厦门 361005)

摘要: 根据高精度非球面制造及测量的需求, 设计并实现了高精度非球面制造及测量系统的控制软件. 系统基于工控 PC 机和 Windows98 操作系统, 并选用 Delphi 6.0 和 Visual Fortran 作为开发工具. 系统采用在线误差补偿加工技术, 选择平面砂轮和圆弧砂轮两种加工方式, 可达到加工高精度光学非球面镜的要求.

关键词: 非球面; 制造; 误差补偿; 工作流; delphi

中图分类号: TG 76

文献标识码: A

最近, 多种采用非球面镜的高性能光学系统被用于大型投影电视、高清晰度电视、高速复印机及照相机中. 特殊要求的高精度非球面镜采用精密磨削及研磨方式. 在机械加工的各种方法中, 精密磨削是决定加工工件的形状精度、表面粗糙度和表面加工质量的主要手段^[1]. 研究表明, 提高非球面模具的形状精度、表面粗糙度, 除了选择高精度、高刚度的加工设备, 还须根据其加工原理对其实行软件误差补偿^[2]. 采用磨削加工, 砂轮的形状精度及其尺寸精度对工件表面精度及加工轨迹计算中存在精度的影响, 使得第 1 次加工后工件精度很难达到要求. 采用补偿加工技术可以解决精度问题^[3,4].

本文针对以上问题, 提出解决加工系统误差的控制方案: 1) 根据工件的非球面方程及机床原始误差数据生成初始加工 NC 程序; 2) 初始加工后, 对工件进行在线测量, 并由误差数据生成在线补偿加工 NC 程序进行补偿加工.

程的某一点, 依据一个结果或流程控制数据, 从多个分支路径中选定一个路径. 多路合并模式是指在流程中某点, 两条或更多分支无同步再收敛. 控制系统在输入模块后进行排它选择, 分别可以进入砂轮修形系统、初始加工系统、补偿加工系统. 进入各个分支后采用顺序模式至数控机床加工时进行多路合并, 至此 workflow 结束. 系统 workflow 如图 1 所示.

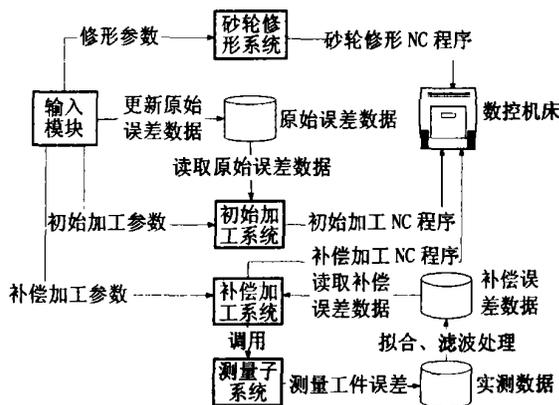


图 1 目标系统的工作流模型图

Fig. 1 Control model of manufacturing system

1 系统软件设计

1.1 系统工作流模型

本系统采用了工作流设计方法, 实现了人与机器活动的自动化处理. 顺序模式是最基本的工作流模式. 顺序模式中位于同一流程的一个任务在另一任务完成后才能被激活. 而排它选择模式描述在流

1.2 目标系统功能分析

通过对控制系统功能的分析, 提出由 3 个子系统组成目标系统的设计模式, 如图 2 所示. 第 1 个是制造子系统, 子系统主要负责生成数控机床所需要的初始加工及补偿加工所需要的 NC 程序; 第 2 个是砂轮修形子系统, 选择砂轮的修形方式将直接影响到加工后工件的表面质量, 所以这一子系统主要根据用户所选择的砂轮修形方式生成砂轮修形的 NC 程序. 第 3 个是测量子系统, 该子系统主要负责

收稿日期: 2003-04-30

基金项目: 国家“8638042416”基金资助

作者简介: 黄浩(1980-), 男, 硕士研究生.

测量补偿加工所需的误差数据.

制造子系统应具备的功能:

- 1) 根据输入参数算出理想表面轨迹;
- 2) 根据输入参数算出砂轮轨迹;
- 3) 输入机床原始误差;
- 4) 根据原始误差及理想表面轨迹叠加生成新的轨迹后生成初始加工 NC 程序;
- 5) 根据测量子系统测出的误差及理想表面轨迹叠加生成新的轨迹后生成补偿加工 NC 程序;
- 6) 显示理想表面轨迹、砂轮轨迹及实际加工的表面轨迹、砂轮轨迹.

砂轮修形子系统应具备的功能:

- 1) 根据输入参数算出修形表面轨迹;
- 2) 根据输入参数算出砂轮轨迹;
- 3) 根据输入参数生成砂轮修形 NC 程序;
- 4) 更新修形后砂轮参数.

测量子系统应具备的功能:

- 1) 根据输入参数测量工件表面;
- 2) 根据误差数据进行拟合;
- 3) 生成补偿加工所需误差数据;
- 4) 计算砂轮半径误差 ΔR .

2 功能模块设计

2.1 参数输入模块

进入加工控制系统, 首先选择加工方式: 1) 平面砂轮点加工. 该加工方式选择平面砂轮加工凸面镜,

其砂轮加工点为固定点. 2) 平面砂轮均匀磨损加工. 该加工方式中, 砂轮加工点均匀分布在平面砂轮所选定的区域上. 在加工中, 工件的 x 轴分为 n 段加工区, 砂轮也均匀分为相对应的 n 段工作区. 采用该加工方式将有利于砂轮的均匀磨损. 3) 圆弧砂轮均匀磨损加工. 该加工方式中, 设计圆弧砂轮加工点按等角度变化规律分布到工件的 n 段加工区上, 使砂轮在加工中形成均匀磨损, 达到提高加工精度目的.

其次输入表面参数, 工作参数(包括主轴长度、砂轮参数等), 加工参数(包括初始加工点、砂轮进给速度等). 在表面参数输入中, 选择表面类型, 包括球面与非球面. 其中轴对称非球面公式可表达为:

$$z = - \frac{CX^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)C^2X^2}} - \sum_{i=1}^n a_i X^i \quad (1)$$

式中:

$$C = \frac{1}{R}, \quad R \text{ 为非球面基础曲率半径,}$$

$$K = 1 - e, \quad e \text{ 为非球面偏心率,}$$

$$a_i \text{ 为非球面系数.}$$

由式(1)可以得到球面公式为:

$$z = - \frac{X^2}{R + \sqrt{R^2 - (2 - e)X^2}} \quad (2)$$

这两种曲面均为旋转体, 其中 z 轴为旋转轴, 加工中, 砂轮运动轨迹为工件母线轨迹, 而工件绕旋转轴旋转.

最后输入原始误差. 根据参考资料和实验数据

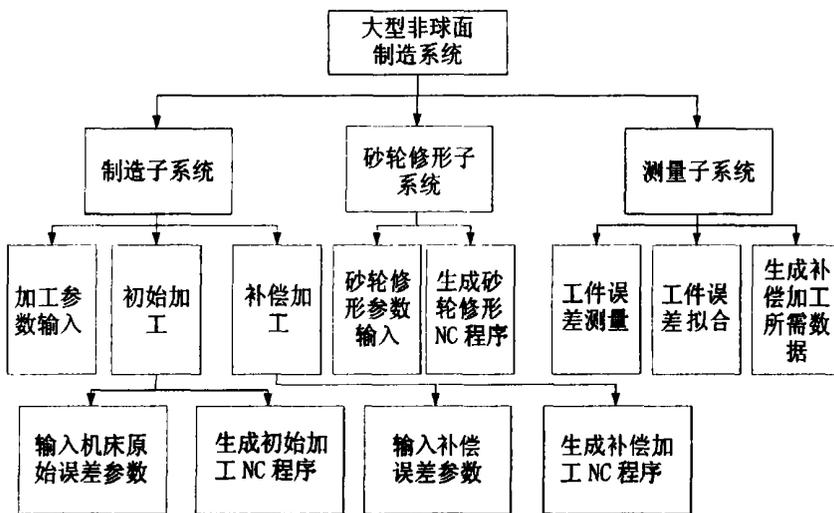


图2 目标系统的软件结构图

Fig.2 Software structure of manufacturing system

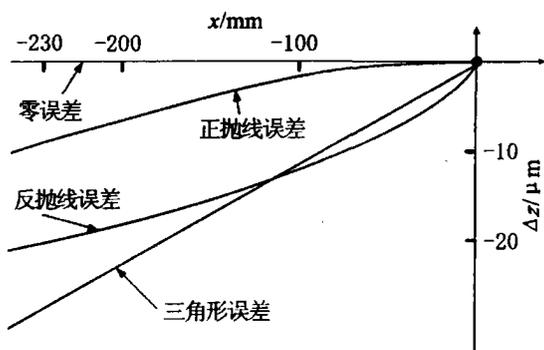


图 3 原始误差曲线

Fig. 3 Error curve of manufacturing system

得出: 加工原始误差包含了 5 种典型的误差曲线. 图 3 所示分别为: 零误差曲线、三角形误差曲线、正抛物线误差曲线、反抛物线误差曲线和自由曲线误差曲线. 选择误差类型后输入原始误差初始点的坐标, 就可以得到误差曲线方程.

根据实际工件测量得到非球面典型的 3 种误差曲线方程: 三角形误差 $\Delta z = -ax$; 正抛物线误差 $\Delta z = -bx^2$; 反抛物线误差 $\Delta z = -c\sqrt{|x|}$.

2.2 初始加工模块

该模块根据原始误差数据与理想表面轨迹曲线叠加生成实际加工轨迹曲线, 并由轨迹生成数控机床使用的 NC 程序. 加工中, 将轴对称非球面 x 轴加工长度均匀分为 n 段, 计算出该点的理想 z 坐标值, 并叠加上该点机床原始误差值进行加工.

2.3 补偿加工模块

该模块根据加工后测得工件表面误差数据, 测量模块将加工误差数据与初次加工表面轨迹叠加, 生成补偿误差加工轨迹, 并将轨迹数据转化成 NC 程序.

2.4 砂轮修形模块

该模块根据砂轮的磨损情况, 对砂轮进行修整, 并及时更新砂轮参数. 对于平面砂轮, 只需计算出所需去除部分与修形后平面砂轮半径, 即可生成所需修形 NC 程序; 对于圆弧砂轮, 需根据圆弧砂轮磨损曲线, 拟合出新的砂轮圆弧曲线方程. 生成新的砂轮修形 NC 程序, 并计算出圆弧砂轮圆弧半径及其平面部分半径.

2.5 误差测量模块

图 4 所示为非球面工件表面误差曲线. 由于砂轮的形状精度、尺寸精度及机床误差的影响, 实际加工无法完全按照理想加工曲线加工. 为了提高精度

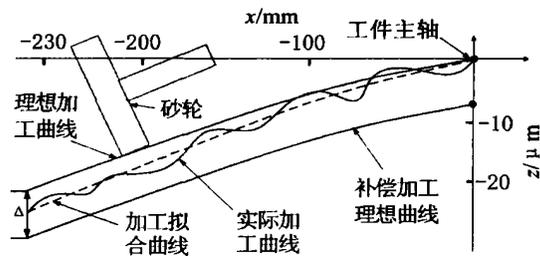


图 4 非球面工件表面误差

Fig. 4 Surface error of aspheric workpiece

必须进行补偿加工. 传感器测出初始加工后工件曲面与理想曲面的误差, 并根据实测误差拟合出补偿误差曲线, 求出平面砂轮半径误差 ΔR . 去除砂轮半径所引起的系统误差部分, 得到补偿加工的误差数据; 更新砂轮半径数据; 叠加补偿误差数据得到实际补偿加工轨迹. 每次补偿加工前, 先进行 z 轴微小进给 Δ , 然后进入补偿加工程序.

3 系统软件实现

3.1 界面设计

经过充分研究, 并综合生产厂家对加工系统功能的要求, 以方便客户操作为依据, 设计出非球面制造及测量系统控制软件主界面, 如图 5 所示. 图 6 为补偿加工模块中, 表示初次加工轨迹和补偿误差曲线的工作界面.

3.2 代码实现

目标系统开发环境: 根据目标系统的开发规模、功能要求, 本系统选用 Delphi 6.0 和 Visual Fortran

高精度非球面制造及测量系统 V1.0



图 5 非球面制造系统控制软件主界面

Fig. 5 Interface of aspheric surface manufacturing system

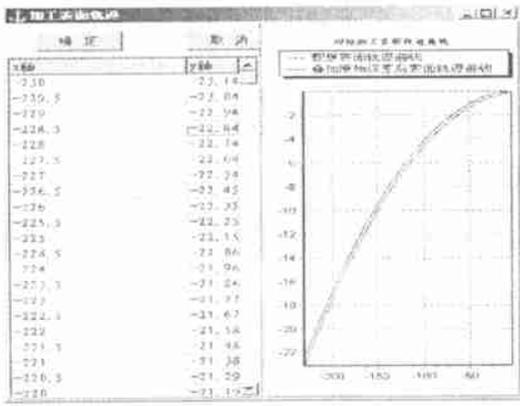


图6 加工表面轨迹界面

Fig. 6 Interface of manufacturing surface locus

作为开发工具. 因为 Delphi 6.0 是拥有的面向对象的程序环境, 可设计开出功能强大、直观好用、兼容性强、速度快的应用程序. 而用 Visual Fortran 来实现底层的计算程序能够实现较高的精度.

3.3 软件功能测试

集成测试: 在将各模块组装起来时, 采用渐增方式把模块结合到软件系统中去, 并使用自顶向下的结合方法, 通过多次运行并未发现程序错误.

验收测试: 将各模块的工作参数输入, 测试系统控制软件各个部分的功能. 实验结果表明: 该软件的功能较齐全, 达到了非球面加工系统的控制要求.

4 小 结

根据高精度非球面镜加工的需要, 设计并完成

了加工及测量系统控制软件, 研究结果表明:

1) 系统实现了对球面、轴对称非球面的高精度加工控制及测量的要求. 可根据不同的工件材料和工作参数, 选择最佳的加工方式. 包括: 凸面镜平面砂轮点加工、凸面镜平面砂轮均匀磨损加工、凸面镜圆弧砂轮加工、凹面镜圆弧砂轮加工等工作模式.

2) 系统采用了在线补偿加工技术, 大大提高了加工精度.

3) 下一步目标是进一步完善对复杂非球面工件加工控制系统的功能, 实现多目标集中控制软件的设计.

参考文献:

- [1] 庞滔. 超精密加工技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [2] 郭隐彪, 杨继东, 梁锡昌, 等. 轴对称非球面模具加工中的补偿技术研究[J]. 中国机械工程, 2000, 10(4): 415-417.
- [3] Sinhoff V. Generative precision grinding of optical glass [J]. Annals of the CIRP, 1998, 47(1): 253-258.
- [4] Karpuschewski B, Wehmeier M, Inasaki I. Grinding monitoring system based on power and acoustic emission sensors[J]. Annals of the CIRP, 2000, 49(1): 235-240.

Study on Control Software of High-precision Aspheric Surface Manufacturing System

HUANG Hao, GUO Yin-biao, XIE Ren-ning

(Dept. of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen Univ., Xiamen 361005, China)

Abstract: According to the requirement of the high precision aspheric surface manufacturing and measurement, we design and realize a high precision manufacturing and measurement system with the technology of error compensation. It is based on industrial PC and Windows98 operating system. By using the development tool of Delphi 6.0 and Visual Fortran, the system of high machining precision has been realized with the plane grinding wheel and arc grinding wheel.

Key words: aspheric surface; manufacturing; error compensation; workflow; delphi