

# 基于 CCD 的高精度非球面测量与控制技术\*

洪永强 郭隐彪 蒋文芳

(厦门大学机电工程系 厦门 361005)

**摘要** 高精度非球面具有广泛的、潜在的应用前景,非球面加工中的表面精度测量及补偿控制是制约其加工过程的关键因素。提出了基于 CCD 成像技术在线动态测量非球面的表面精度,研究了在线动态测量控制的结构方案,建立了基于 CCD 作为测量环节的计算机控制光学表面成形系统,提出了对表面精度的加工采用宏观形貌和微观形貌分段测量与控制的方法。

**关键词** 非球面 表面精度 CCD 成像 测量与控制

## Measurement and Control for High-accuracy Aspherical Surface Based on CCD

Hong Yongqiang Guo Yinbiao Jiang Wenfang

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

**Abstract** The application of high-accuracy aspherical surface has a wide and potential prospect. Surface precision measurement and compensation control when aspherical surface machining are the key factors for restricting its machining process. This paper brings forward on-line dynamic measurement of aspherical surface precision based on charge coupled device (CCD) imaging technology, studies the constructional scheme of on-line dynamic measurement and control, sets up computer controlled optical surfacing (CCOS) system adopted CCD as measuring part and gives the methods of measuring and controlling the macroscopical morphology and microscopical one respectively when surface machining.

**Key words** Aspherical surface Surface precision CCD Measurement and control

## 1 引言

非球面在高功率激光技术、航天技术、天文光学、高能物理和军事技术等领域的应用越来越普遍。为了提高强激光工程中的输出功率,减少装置体积和光学元件数量,提高激光的聚焦精度,对非球面镜的表面加工精度要求特别高<sup>[1]</sup>。本文采用一种基于 CCD 为核心部件的非球面表面精度测量机构,构成以 CCD 为测量环节的 CCOS 系统,利用数字图像处理技术,对非球面宏观形貌和微观形貌的表面精度进行测量和控制。

## 2 测量机构组成原理

CCD 摄像机具有类似人眼的工作方式,能动态地

获取外界图像。本文采用两个彩色面阵 CCD 摄像机以一定夹角摄取非球面上同一微小区域的表面形貌,测量过程中,CCD 摄像机由精密的运动机构驱动沿非球面的径向运动,非球面镜沿对称轴转动,CCD 摄像机将非球面表面形貌的每一个微小区域进行摄像,测量机构如图 1 所示。

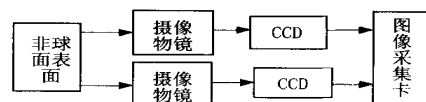


图 1 表面形貌图像实时采集机构框图

非球面表面形貌借助于光学物镜成像在 CCD 摄像机的光敏面上,通过光电转换、电荷储存、电荷信号传输和电荷信号扫描拾取等一系列过程,最终从 CCD 摄像机中输出非球面表面形貌图像的全电视视频信

\* 厦门大学校自选课题 Y08004 资助项目。

号,经图像采集卡传入微机中,通过数据处理形成数字化的立体图像,存入内存。

### 3 基于 CCD 的 CCOS 系统

计算机控制光学表面成型 CCOS 技术是用一个比被加工零件小得多的磨头(磨盘或抛光盘),在计算机的控制下,以一定的路径、速度和压力对光学表面作相对运动进行研磨和抛光,通过改变任一区域的研磨抛光时间(驻留时间)、接触压力或磨头运转速率,精确地确定工件材料的去除量,完成光学表面成型或抛光,达到修正误差、提高精度的目的。

#### 3.1 系统组成

基于 CCD 的 CCOS 系统框图如图 2 所示。

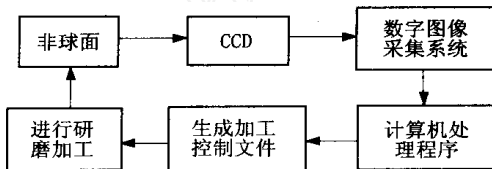


图 2 基于 CCD 的 CCOS 系统加工流程框图

#### 3.2 工作原理

对非球面进行研磨加工,首先要对加工件表面进行形面测量,确定加工材料的去除函数。两个相互间夹角为 20 度的彩色面阵 CCD 摄像机对非球面表面进行形面测量,通过微机中建立的一套基于 Windows 工作平台的控制系统软件,对图像进行实时采集和分析处理。由被测非球面的方程可确定被测非球面最接近的标准非球面数据库,将已记录的特征数据与微机数据库中的理想数据进行比较和相关的计算处理,得到加工面的形面误差。为了得到补偿加工数据,通过形面误差与预测值比较,确定下一次研磨加工的主要加工工艺参数。然后生成研磨加工的数控加工代码,在研磨机床上进行研磨加工,去除存在的形面误差。这个过程不断地进行下去,使得形面误差不断地减小,直到符合工件的形面误差要求。非球面表面精度测量的精确程度将影响加工时的材料去除量。

#### 3.3 磨头的去除函数模型

根据 Preston 方程,在一定的工艺参数范围内,任

意点处的材料研磨去除量由如下关系式表示:

$$\frac{dh(x, y)}{dt} = kP(x, y, t)V(x, y, t) \quad (1)$$

式中:  $\frac{dh(x, y)}{dt}$  ——单位时间材料研磨去除量

$k$  ——比例系数;它和加工材料、磨头材料、抛光液浓度及温度等工艺因素有关。

$P(x, y, t)$  ——磨头对该点垂直作用的压力

$V(x, y, t)$  ——磨头相对工件的运动速度

在保持磨头运动速度  $V(x, y, t)$  不随时间变化,并使压力  $P(x, y, t)$  处处保持恒定,且垂直作用于被加工物件的表面时,磨头单位去除函数为:

$$f(x, y) = \frac{1}{T} \int_0^T kPV(x, y) dt \quad (2)$$

式中,  $T$  为时间周期。

### 4 分段测量与控制

#### 4.1 宏观形貌测控

在非球面的精磨阶段,加工后工件的表面形状误差较大,不能满足定量精确测量并提供指导 CCOS 的数据。将非球面的数学模型数字化后形成一系列的空间离散点,生成加工目标的数据库模型,通过 CCD 对工件宏观形貌的测量,确定工件的倾斜角的大小、方向及表面粗糙度,并与加工目标的数据库模型参数进行比较计算,得到驻留时间控制值。

#### 4.2 微观形貌测控

在非球面的抛光阶段,通过对工件微观形貌的测量,监视工件的表面质量,系统预先对一系列标准参考表面进行 CCD 摄像,建立系统特征图库,在实时动态测量中,通过图像捕获、特征抽象、识别分类、图像解释,将 CCD 摄像机测得的图像与由系统特征图库提供的参考图像进行比较,以获得所测量区域表面精度的状态,输出相应的驻留时间控制值。

### 参考文献

- 1 徐炎昭,蒋静坪,曹天宁. 旋转对称非球面自动加工控制算法研究. 光学技术, 2000, 26(1): 46~ 48, 51.