

## 汽车制动缸内部检测

董传宇<sup>1</sup> 冯进良<sup>1,2</sup> 贾齐<sup>1</sup> 吕宏伟<sup>1</sup>

(1. 长春理工大学光电工程学院 长春 130022; 2. 中国科学院长春光学精密与物理研究所 长春 130022)

**摘要:** 文章致力于研究汽车制动主缸缸体主孔的位置以及检测制动缸内部是否存在砂眼等缺陷。由于制动缸缸体的补偿孔偏离制动缸中心轴,因此在加工过程中可能存在较大的误差,并且由于制动缸外部轮廓比较复杂,因此能否准确的检测补偿孔的位置成为检测此部件的一大难点。提出的检测装置通过微位移传感器采集零点,通过线阵 CCD 的搭接进行检测,通过计算机进行数据处理,各个部分在回转机械工作台的协调下完成对工件的检测。

**关键词:** 线阵 CCD; 微位移传感器; 图像处理; 机械设计

**中图分类号:** TP2    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.1050

## Internal detection of automobile brake cylinder

Dong Chuanyu<sup>1</sup> Feng Jinliang<sup>1,2</sup> Jia Qi<sup>1</sup> Lü Hongwei<sup>1</sup>

(1. Changchun University of Science and Technology, Changchun; 2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

**Abstract:** The article dedicated to detect the position of the mine hold inside the brake master cylinder block and the existence of sand holes or not. Due to the cylinder block compensation hole deviating from the cylinder center axis, so there may be a large error in the machining process, and because the shape of brake cylinder is complex thus how to accurately detect compensation hole position was a big difficulty. Find the zero line by displacement sensors and detection by CCD, process the date by computer, every part work around efficient rotary table.

**Keywords:** linear array CCD; micro displacement sensors; image processing; mechanical design

## 1 引言

目前,汽车制动主缸缸体主孔位置的测量方法基本为接触式测量,常规的量具有:卡尺和千分尺等。这些常用量具的测量精度在很大程度上取决于工人的技术水平,由此导致了精度不稳定,且效率低,最终难以达到精度要求。因此,制动主缸缸体主孔位置检测系统的设计,是实现精确测量主孔位置的关键,从而满足人们日益对汽车追求完美的愿望。

采用非接触式机器视觉技术测量缸体内孔将是内孔检测发展的主要方向,非接触式测量方法以其对机械零件无损测量,精度可以达到  $2\ \mu\text{m}$  且安装简单、测量效率高等优点得到广泛地研究<sup>[1]</sup>。本文所介绍的方法是用线阵 CCD 搭接的方法对工件进行扫描,从而实现孔位置的测量。它的主要优点是测量精度高、速度快、非接触测量,测量结果可直接显示和打印,而且可用于在线检测,具有广泛的应用前景。测量时对被测件无测量力、无磨损、无变形,在保证较高测量精度的同时,还具有较高的测量速度,可广泛用于

机械制造以及其它行业的在线检测与闭环控制。本课题研究的制动缸缸体主孔位置的非接触测量技术采用了 CCD 搭接技术、现代传感技术<sup>[2]</sup>、精密机械和计算机处理等技术,有效解决了制动缸缸体主孔位置的检测,精度高,因此对汽车行业的进一步发展起到很大的作用。

## 2 测量系统原理

汽车制动缸(图 1)内部的检测属于深孔的检测范围,直径为 18 mm,深度为 150 mm。对于较大深宽比的孔的检测,由于被检测件自身的约束,检测的难度比较大。

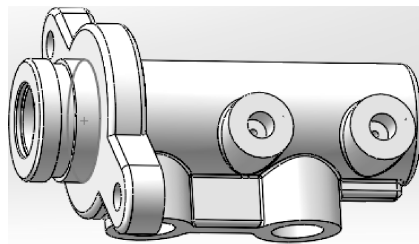


图 1 制动缸

因此本研究的一个关键点在于传感器方案的选取上。在补偿孔距测量、直径测量和表面粗糙度测量方面有一定难度,综合起来看选用光电法和图像方法是两个相对可行的方案,光电检测对检测孔距测量能够满足要求,但是对于表面粗糙度测量没有办法实现;所以光电检测方法有一定的缺陷,经过对技术要求的详细分析认为,采用机器视觉技术的线阵 CCD 成像的技术方案是本项目的最终解决方法。

将线阵 CCD 进行轴向拼接达到所需要的长度,再将搭接好的线阵 CCD 与线型光源和微位移传感器进行复合,并在伺服机构的控制下在被测件的内部进行直线和回转运动,最后将 CCD 所得到的数据送入计算机进行数据处理,通过图形分析和数据处理得出结论。原理流程如图 2 所示,检测装置结构如图 3 所示。

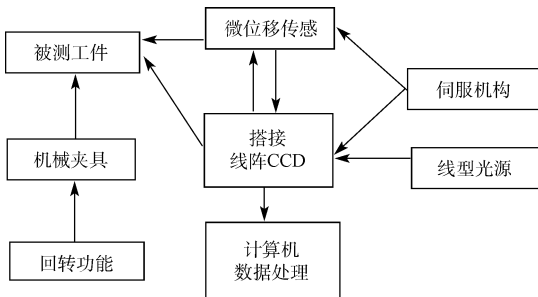


图 2 原理流程

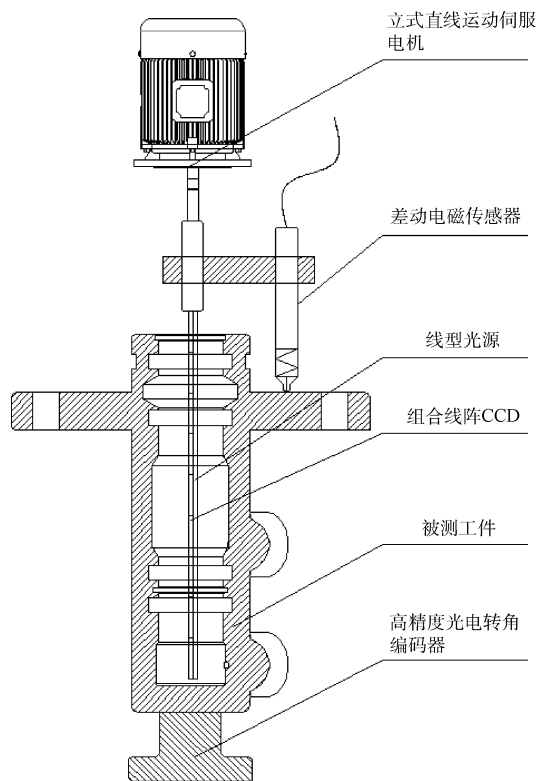


图 3 测量原理

### 3 系统的组成

工件的检测需要光电测头在工件内部进行直线运动和回转运动<sup>[3]</sup>,因此整个仪器机械结构包括几个部分:零点定位装置、直线进给装置、回转工作装置。如图 4 所示。

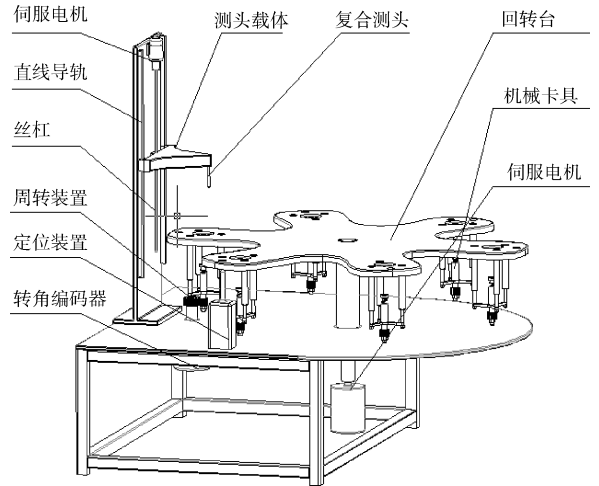


图 4 检测系统结构

#### 3.1 零点定位装置

对制动缸的检测,要求先将搭接的线阵 CCD 伸到制动缸底部从而满足对制动缸的轴向的扫描,之后在让 CCD 进行周转运动对制动缸内部进行全部的扫描<sup>[4]</sup>。因此如何确定光电测头已经到达准确位置成为关键。本文通过将电磁传感器复合到光电测头上使其与光电测头同时直线向下运动,当传感器与工件外台阶接触时给出中断,同时测头停止向下运动,并且将此位置作为测量和计算的零点,从而达到对孔到外基准台阶面的距离是否符合要求。由于零点的选取对于整个测量来说是绝对误差,为了测量的准确性,本文选择 SOWAY 公司的 SDVH8 系列电磁微位移传感器(分辨率 $\leq 0.01 \mu\text{m}$ ,重复率 $\leq 5 \mu\text{m}$ ,量程 2 mm)。

#### 3.2 直线运动装置与回转装置

首先将探测头连接立板通过滑块固定到直线导轨上,在通过丝杠连接底座将丝杠伺服电机与探测头连接板连接,从而实现连接板能够在丝杠的带动下直线向下运动(图 4)。

回转运动的设计部分:由于测头已经连接在丝杠上用于进行直线运动,所以回转方面的设计主要针对机械夹具,电机通过齿轮带动机械夹具完成回转运动,从而满足搭接线阵 CCD 在制动缸内部的回转测量(图 4)。

#### 3.3 高效工作台

以往对汽车制动缸的检测存在效率低的致命缺点,为解决这一问题,本装置采用六工位高效回转装置(图 4),在转角编码器的带动下对工件进行检测,方便快捷。

## 4 图像处理

拼接线阵 CCD 获得的图像如图 5 所示。

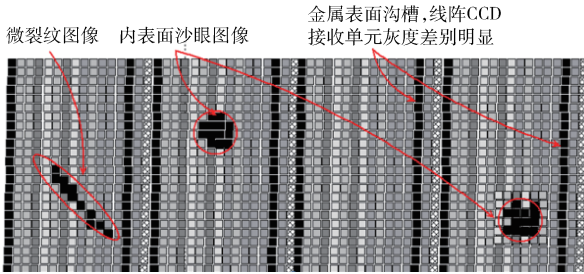


图 5 线阵 CCD 获得的图像

CCD 图像传感器接收光信号并转换为电信号,通过 A/D 转换获得数字信号<sup>[5]</sup>。然后进行特征提取,处理器的控制程序根据收到的数据做出结论。具体图像处理过程如下文所述。

### 4.1 图像增强

图像增强可分成两大类<sup>[6]</sup>:频率域法和空间域法。前者把图像看成一种二维信号,对其进行基于二维傅里叶变换的信号增强。采用低通滤波(即只让低频信号通过)法,可去掉图中的噪声;采用高通滤波法,则可增强边缘等高频信号,使模糊的图片变得清晰。由于本次操作的目的主要是想得到检测到椭圆孔的边缘,因此采用频率域法<sup>[7]</sup>。

2 个变量连续函数  $f(x, y)$  的傅里叶变换  $F(\mu, \theta)$  定义为等式:

$$F(\mu, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-j2\pi\mu x + \theta y} dx dy$$

1 个图像尺寸为  $M \times N$  的函数  $f(x, y)$  的离散傅里叶变换(DFT):

$$F(u, \theta) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j\pi(\frac{x}{M} + \frac{y}{N})}$$

式中:  $\mu = 0, 1, 2, \dots, M-1, \theta = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 。经过傅里叶变换获得鲜明的特征。

### 4.2 用 MATLAB 拟合图中椭圆边界<sup>[8]</sup>

先用 Imread 函数读入二值图片,得到相应的数据矩阵(矩阵元素为 1 的表示白色,0 表示黑色),Imshow 函数显示矩阵对应的图像,左上角为坐标原点,再用 edge 函数提取边界,  $ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + 1 = 0$  的函数形式拟合边界(图 5),即求解一个最小二乘问题(先得到超定线性方程组),画出拟合椭圆图形叠加在原图上,注意左上角为坐标系原点,得出椭圆圆心坐标。计算出椭圆圆心坐标与前端面的距离,即为检测结果。

## 5 误差分析

综合整个检测设备来分析,系统的误差主要包括以下几个部分。

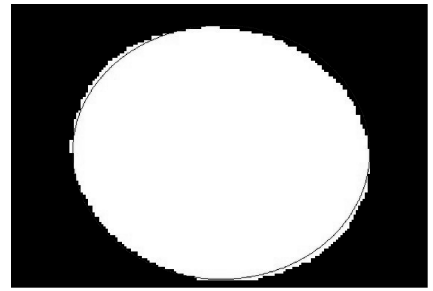


图 6 拟合椭圆边界

### 5.1 阿贝误差 $\delta_1$ <sup>[9]</sup>

理论上讲测量仪器的轴线与待测工件的轴线需在同一直线上。假设测量仪器与工件的轴线之间的夹角为  $\theta$ ,测量仪器的轴长为  $L$  由此产生的误差为  $\delta_1$ ,假设误差角  $\theta = 5^\circ$ ,长  $L = 18 \text{ mm}$  则:

$$\delta_1 = L(1 - \cos\theta) = 0.072 \text{ mm}$$

### 5.2 零点定位误差 $\delta_2$ <sup>[10]</sup>

所选的零点定位电磁传感器的分辨率  $y = 0.01 \mu\text{m}$ ,重复率  $r = 5 \mu\text{m}$ ,二者的相关系数为  $k = 1$  则:

$$\delta_2 = \sqrt{y^2 + r^2 + k^2 y r} \approx 0.055 \text{ mm}$$

### 5.3 线阵 CCD 误差 $\delta_3$

根据所选的 CCD 型号  $\delta_3 = 0.218 \mu\text{m}$ 。综合测量误差为:

$$\Delta = \pm \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2} \approx 6.6 \mu\text{m}$$

## 6 结 论

采用本文的方法对汽车制动缸的检测的精度在  $\pm 10 \mu\text{m}$ ,这基本符合检测要求。此精度在国内处于领先水平。该方案的优点是简单可靠,效率高,精度高,但对于瑕疵的深度还不能测量,仍有待今后探究。

## 参考文献

- [1] 王蕾,冯进良,张雪峰.小孔内表面在线检测装置设计[J].长春理工大学学报:自然科学版,2015,38(1):100-101.
- [2] 尤文坚.现代传感器输出特性拟合技术研究进展[J].国外电子测量技术,2013,32(3):25-27.
- [3] 潘银松,丁建军,黄宇坤,等.一种小型无人机飞行控制系统的研究与设计[J].电子测量技术,2013,36(2):100-103.
- [4] 王爽,冯进良,丁铂,等.高深宽比小孔内径的检测装置研究[J].仪器仪表用户,2012,19(2):6-9.
- [5] 孙建平,胡英成,王逢瑚,等.基于图像处理的木材断裂面分形分析[J].仪器仪表学报,2013,34(12):2818-2823.

(下转第 195 页)