

# 基于尺寸公差和图像处理的刹车片尺寸检测

徐志玲<sup>1</sup>, 胡琳丽<sup>2</sup>, 陈 杨<sup>2</sup>, 厉志飞<sup>3</sup>

(1. 中国计量大学质量与安全工程学院 杭州 310018; 2. 中国计量大学计量测试工程学院 杭州 310018;  
3. 杭州市质量技术监督检测院 杭州 310019)

**摘要:** 刹车片尺寸检测是刹车片质量的重要指标之一。为了快速综合检测刹车片尺寸,提出了基于公差设计原则和图像处理的综合尺寸检测方法。首先根据图纸要求利用尺寸公差设计原理逆向设计刹车片尺寸允许公差控制带,作为综合尺寸检测标准模板图;其次,利用 CCD 相机采集待检刹车片图像以及进行滤波、二值化处理,得到二值图像并利用最小外接矩形优化算法确定其放缩倍数,得到与标准模板图相同的像素尺寸标准的实际图;最后利用实际图与标准模板图两圆心坐标连线中点位置截图相同大小的两幅图,并且将实际图进行边缘检测得到实际轮廓图,然后将实际轮廓图与标准模板图进行加法运算,利用白色像素点数与标准模板图白色像素点数差异得到检测结果。实验结果表明,检测精度可达到1个像素尺寸,检测速度5 s一片,并且可以检测出刹车片所有待检尺寸是否合格。

**关键词:** 刹车片;尺寸公差;图像处理;最小外接矩形

**中图分类号:** TP391.41 TH124 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

## Brake pad dimension detection based on dimension tolerance and image processing

Xu Zhiling<sup>1</sup>, Hu Linli<sup>2</sup>, Chen Yang<sup>2</sup>, Li Zhifei<sup>3</sup>

(1. College of Quality & Safety Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China; 2. College of Metrology & Measurement Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China; 3. Hangzhou Quality and Technology Supervision and Inspection Institute, Hangzhou 310019, China)

**Abstract:** Brake pad dimension detection is one of the important indices of brake pad quality. In order to quickly and comprehensively detect the dimension of the brake pad, this paper presents a comprehensive brake pad dimension detection method based on tolerance design principle and image processing. Firstly, according to the requirements of the design drawings, the dimension tolerance design principle is used to reversely design the brake pad allowable dimension tolerance control zone, which is taken as the comprehensive dimension test standard template. Secondly, the CCD camera is used to acquire the image of the brake pad to be tested, which is then filtered, processed with binarization; a binary image is obtained and the minimum circumscribed rectangle optimization algorithm is used to determine the scaling factor, and the actual image the same as the standard template in pixel scale is obtained. Finally, at the midpoint of the line connecting two cycle center coordinates of the actual image and standard template, two images with same size are cut out. Edge detection is performed on the actual image to get the actual contour image, then the actual contour image and the standard template are added up, and then from the difference of the numbers of the white pixels for the added image and standard template, the detection result is obtained. The experiment result shows that the detection accuracy can reach 1 pixel, the detection speed reaches 1 piece per 5 seconds, and the proposed method can detect whether all the dimensions of the brake pad are qualified.

**Keywords:** brake pad; dimension tolerance; image processing; minimum circumscribed rectangle

## 0 引言

在汽车的制动系统中,刹车片是最关键的安全部件,刹车片质量的好坏直接影响驾驶员的生命财产安全<sup>[1]</sup>,刹车片尺寸是否合格是评价刹车片质量好坏的重要因素之一,所以对刹车片各个尺寸的检测尤为重要。

目前对于零件尺寸检测方法主要有人工检测法和图像处理检测法。人工检测方法主要依靠游标卡尺、千分尺等量具对待检刹车片按照图纸进行每一尺寸的测量,近年来,随着计算机科学和数字图像处理技术的快速发展,利用图像处理方法检测零件尺寸的应用也越来越广泛<sup>[2]</sup>。

目前基于机器视觉的尺寸检测方法已经取得了一定的发展及成果。在国外,Dahle O 等人<sup>[3]</sup>开发了基于机器视觉的尺寸检测系统,实现了对产品几何尺寸轮廓的在线检测;Aminzadeh M 等人<sup>[4]</sup>开发了基于机器视觉的粉末添加剂尺寸精度检测系统,并进行大量实验,验证精度和性能。在国内,许光明等人<sup>[5]</sup>利用霍夫变换和亚像素算法实现对规则零件的非接触的尺寸检测;田原源等人<sup>[6]</sup>提出了最小二乘回归亚像素边缘检测技术进行边缘定位与角点提取,利用回归优化进行相机的标定,适用于微小尺寸的检测;王冠英等人<sup>[7]</sup>采用扫描仪与图像处理技术相结合的方法,利用图像二值化算法得到像素尺寸从而得出实际尺寸,提高了尺寸测量效率;左东祥等人<sup>[8]</sup>利用形态学和灰度值特征以及边缘提取和局部阈值分割算法,计算出刹车片尺寸,检测结果误判率为1%。

由上述可以看出基于图像处理检测尺寸的方法大多数是利用边缘检测算法与二值化算法提取边缘,然后进行像素尺寸与实际尺寸的转化来得出尺寸的检测结果,该方法大多数只局限于检测待测物体的部分尺寸,并不能检测出待测物体的所有尺寸。为此本文提出一种刹车片尺寸综合检测算法,可以检测刹车片所有尺寸,判断刹车片是否合格,弥补现有机器视觉技术只能检测刹车片部分尺寸的不足<sup>[9]</sup>。

整个算法流程分为3个部分,首先根据刹车片图纸和公差设计原理确定各个尺寸的最大、最小极限尺寸并利用CAD绘图软件逆向设计刹车片尺寸允许公差控制带图(后文简称标准模板图),并保存为bmp黑白图像格式,作为后续待检刹车片图像的比对标准模板图。其次利用机器视觉系统采集待检刹车片图像,并进行图像预处理包括滤波、阈值分割、消除小联通区域得到二值图像,再将二值图像和标准模板图进行最小外接矩形处理,根据标准模板图和二值图像的最小外接矩形的长宽比来确定二值图像的放缩倍数,使二值图像得到与标准模板图相同的像素尺寸标准的实际图。最后利用Hough圆检测算法得到实际图圆心坐标,根据图纸要求,比较实际图两个圆心坐标差异,确定实际图旋转角度并进行旋转,使

得实际图中两圆心横坐标一致,旋转后提取标准模板图和再次提取实际图的两圆心坐标并确定两圆心中点坐标,并以两图圆心连线中点为截取中心,截取出大小相同的两幅图像,截取以后将标准模板图进行取反运算并统计白色像素点个数,然后将实际图进行边缘检测,得到实际轮廓图,然后将标准模板取反图与实际轮廓图进行加法运算并统计白色像素点个数与标准模板取反图白色像素点个数相比较,最终判断刹车片尺寸是否合格。

## 1 刹车片尺寸允许公差控制带图设计

在《公差与配合》标准中明确定义,尺寸公差带是“在尺寸允许公差带图中,由上、下偏差代表的两条直线所限定的一个区域”<sup>[10]</sup>。换言之每个尺寸要素上、下偏差限定的区域是该尺寸的允许尺寸范围。由于刹车片尺寸允许公差控制带图是一个二维平面图,所以设计过程中只需从刹车片图纸中获取尺寸、公差、位置以及形状信息。不同形状尺寸公差带设计原则不同,在刹车片中只有两种尺寸类型,圆形类尺寸和直线型尺寸。不管是哪种尺寸类型,刹车片尺寸允许公差控制带图最初设计基准为两圆心连线的中点。

### 1.1 圆形类尺寸允许公差带设计

刹车片是汽车的重要零部件,与汽车其他零部件之间的配合关系主要为孔轴配合,所以在刹车片圆形类尺寸中主要为孔和轴,孔和轴要遵循孔轴配合原则,否则无法装配,孔和轴允许的最大和最小的尺寸就是其最大和最小极限尺寸,最大和最小极限尺寸也是孔和轴允许的最大尺寸变动范围,如果进行加工后孔和轴尺寸在其极限尺寸范围内,孔和轴合格<sup>[11]</sup>。孔和轴极限尺寸如图1所示。

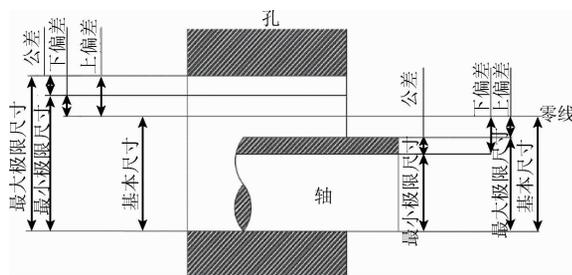


图1 孔和轴极限尺寸

Fig. 1 Limit dimensions of hole and shaft

### 1.2 直线型尺寸允许公差带设计

直线型尺寸要素根据基准的实际方向上尺寸大小的允许变动量来设计。实际方向即待确定公差带直线与基准平面相对位置方向<sup>[12]</sup>,如图2所示,可知 $\Phi 50$ 的孔圆心位置相对于 $\Phi 80$ 孔、基准底平面以及定位直线尺寸和偏差 $120 \pm 0.1$ 、 $150 \pm 0.2$ 确定。

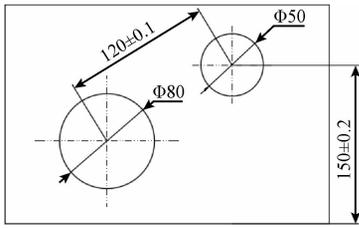


图2 图纸尺寸要求  
Fig. 2 Drawing dimension requirements

根据尺寸基准原则,120 ± 0.1 这个尺寸的基准点是 Φ80 孔的孔轴线,就孔一个截面来说即圆心,Φ50 孔的中心位置是以基准点为圆心的圆弧上,圆弧半径极限定位尺寸为 120.1 和 119.9,所以 120 ± 0.1 这个尺寸限制了 Φ50 孔圆心的位置变动区域为两个半径分别为 120.1、119.9 同心圆弧所夹区域;同理,到基准底平面 150 ± 0.2 这个尺寸限制了 Φ50 孔圆心的位置变动区域为两条平行线所夹的区域,这两条平行线的定位尺寸基准为底平面,最大、最小极限尺寸分别为 150.2、149.8<sup>[10]</sup>。最终两个区域重叠部分为 Φ50 孔圆心的尺寸允许公差控制带,即图 3 中 abcd 区域。

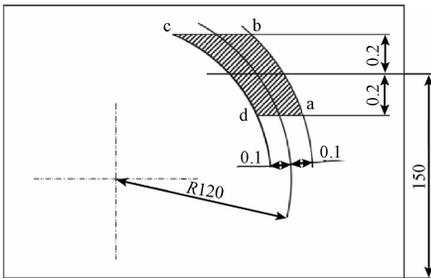


图3 尺寸允许公差控制带  
Fig. 3 Dimension tolerance control zone

根据以上设计准则,利用 CAD 绘图软件绘制刹车片各个尺寸允许公差带区域并进行填充得到刹车片尺寸允许公差控制带图(后文简称标准模板图)并保存为 bmp 格式作为待检刹车片的比对模板,如图 4 所示。

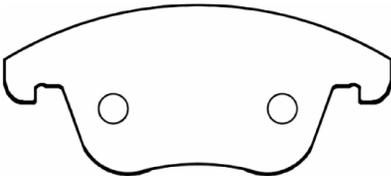


图4 刹车片尺寸允许公差控制带  
Fig. 4 Dimension tolerance control zone of the brake pad

## 2 图像预处理

由于待检刹车片表面存在一些轻微划痕或者表面部

分氧化,所以在 CCD 拍摄时得到图像表面并非均匀光滑,因此设计性能优越的图像处理方法非常重要<sup>[13]</sup>。针对这些问题,首先采用中值滤波减小图像中的异常值,然后采用最大类间方差法(OTSU)对图像进行二值化处理,进行消除图片中的小连通区域,得到只有目标物体和背景的二值图像。

### 2.1 中值滤波

中值滤波是一种非线性信号处理方法,中值滤波器本质上是一种顺序统计滤波器。中值滤波就能使得其邻域拥有不同灰度值的点更接近于它的邻域点,因此它能消除一些孤立像素点。设有一个一维序列  $f_1, f_2, \dots, f_n$ , 取窗口长度的点数为  $m$  ( $m$  为奇数), 对此窗口进行中值滤波,就是从输入序列中相继抽出  $m$  个数  $f_{i-v}, \dots, f_{i-1}, f_i, f_{i+1}, \dots, f_{i+v}$ , 其中  $f_i$  为窗口中心值,  $v = (m - 1)/2$ 。再将这窗口  $m$  个点按数值大小顺序排序,取其数值大小为中心的那个数为滤波输出,用数学公式表示为:

$$y_i = \text{Med}\{f_{i-v}, \dots, f_i, \dots, f_{i+v}\} \quad (1)$$

式中:  $i \in Z, v = (m - 1)/2$ 。

如图 5(a) 所示为原始图像,图 5(b) 所示为中值滤波后图像。

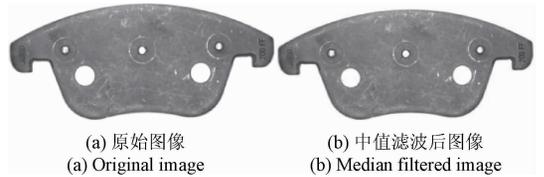


图5 中值滤波  
Fig. 5 Median filter

由图 5 可知,经中值滤波后的图像异常值明显减少,图像更加平滑。

### 2.2 OTSU 阈值分割

OTSU 阈值分割是以灰度直方图的分布为根据的,当分割的目标和背景类间的方差达到最大将该值选取为阈值<sup>[14]</sup>。

设原始图像  $f(x, y)$  利用 OTSU 阈值分割在  $f(x, y)$  中找到一个合适的灰度值作为阈值  $t$ , 则分割后的图像  $g(x, y)$  可由下式表示:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) \geq t \\ 0, & f(x, y) < t \end{cases} \quad (2)$$

由上述算法得到刹车片二值图像,如图 6 所示。

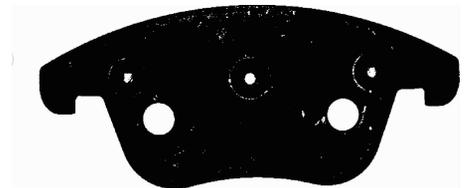


图6 刹车片二值图像  
Fig. 6 Brake pad binary image

### 2.3 消除小连通区域

经过 OTSU 阈值分割得到的二值图像  $g(x,y)$  仍然存在很多白色干扰点,这些干扰点会影响后续的处理,应当消除这些白色干扰点,采用连通区域法来消除这些干扰点,所以本文选取像素值为 1 的像素点,连通区域选取 8 邻域<sup>[2]</sup>。

连通区域法消除干扰点的原理是干扰点相对于其他大连通区域所占的像素点较少,所以设置一个像素点面积阈值  $t_1$ ,若连通区域  $C_i$  中像素点个数  $N_i$  小于阈值  $t_1$  则将该区域滤除,滤除部分用公式表示为:

$$g(x,y) = \{C_i(x,y) \mid N_i < t_1, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (3)$$

本文选取阈值  $t_1 = 60$ , 优化后二值图像如图 7 所示。

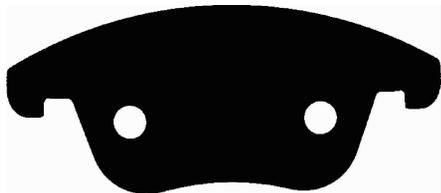


图 7 优化后二值图像  
Fig. 7 Optimized binary image

## 3 尺寸检测算法

实现刹车片图像二值化以后,进行图像取反,利用最小外接矩形优化算法确定取反图像缩放倍数,使二值图像与标准模板图统一像素标准得到实际图。然后利用 Hough 圆检测实际图两圆圆心坐标,并比较实际图两圆心横纵坐标差异确定实际图的旋转角度使达到与标准模板图相同的水平位置,提取旋转后实际图和标准模板图两圆心坐标并确定两圆心连线的中点坐标。利用中点坐标从两幅图中截取大小相同的矩形区域,并统计标准模板图取反后白色像素点数以及将实际图进行边缘检测得到实际轮廓图。最后将截取的两幅大小相同的图像进行加法运算并统计白色像素点数与标准模板图取反图白色像素点数相比较,若两者白色像素点相等,即实际轮廓图中的白色像素点都被标准模板图白色像素点覆盖,刹车片尺寸合格,否则,刹车片尺寸不合格。

### 3.1 最小外接矩形优化算法确定缩放倍数

最小外接矩形是利用二值图像特征确定图像目标物体的最小外接矩形的长和宽特性。本文利用旋转法得到最优形态外接矩形,具体步骤如下。

1) 利用二值图像目标物体的中心位置与目标物质心位置相同,得质心坐标  $M(a,b)$ 。

2) 利用图像投影原理求得目标物体主轴以及确定最小外接矩形。

以质心坐标  $M(a,b)$  为原点建立直角坐标系,将图像进行全面扫描<sup>[15]</sup>,将过原点并且倾角  $\theta \in (0,180^\circ)$  的所有直线上的像素点坐标记录在  $I(\theta;x_j,y_j)$  数组中,并标记垂直于  $I(\theta;x_j,y_j)$  中倾角  $\theta$  的直线  $L$  的直线为  $l_i, i = 1, 2, \dots, n$ ,统计直线  $l_i$  上像素值为 1 的数量并记与直线  $L$  交点  $O$  的能量值为  $E(\theta,\kappa)$  数组,主轴与投影中心分别为极大值  $\kappa$  所对应的角度和交点  $O$ 。得到初始最小外接矩形,如图 8 所示。

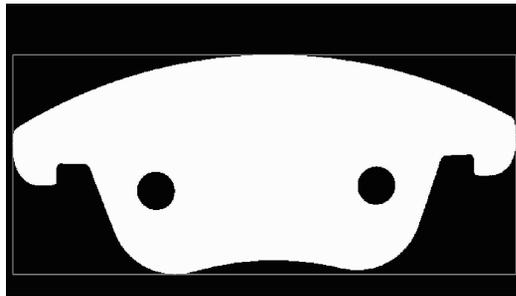


图 8 初始最小外接矩形  
Fig. 8 Initial minimum circumscribed rectangle

3) 初始外接矩形绕其中心点旋转得到最优形态最小外接矩形。

取初始外接矩形的中心点为旋转中心  $C(x_0,y_0)$ ,平移到点  $O$  的变换矩阵为  $V_1$ ,图像绕  $O$  点逆时针旋转  $\varphi$  角,变换矩阵为  $V_2$ ,然后将旋转中心平移回矩形的中心点,变换矩阵为  $V_3$ ,则每个像素点旋转过程的坐标变换为:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} = V_1 \cdot V_2 \cdot V_3 \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_0 & y_0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_0 & -y_0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x-x_0)\cos\varphi + (y-y_0)\sin\varphi + x_0 \\ -(x-x_0)\sin\varphi + (y-y_0)\cos\varphi + y_0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

经上述变换即可得到最优形态最小外接矩形,如图 9 所示。

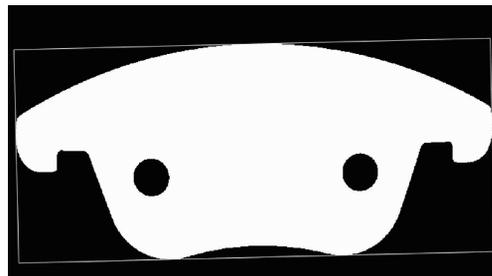


图 9 最优形态最小外接矩形  
Fig. 9 Optimum form smallest circumscribed rectangle

得到最优形态外接矩形可得知该矩形的长宽尺寸分别为  $a_0$ 、 $b_0$ ，同时将最小外接矩形算法同时运用到标准模板图也得到长宽尺寸分别为  $a$ 、 $b$  作为标准长宽尺寸，则二值图像缩放倍数为  $(a/a_0 + b/b_0)/2$ ，得到缩放倍数进行缩放，二值图像得到与标准版模板图相同像素尺寸标准的实际图。

### 3.2 Hough 圆检测

Hough 变换是利用图像空间和参数空间之间的关系来实现的，在图像空间中，任意的曲线都可用式(5)表示。

$$g[(k_1, k_2, \dots, k_n), (x, y)] = 0 \tag{5}$$

式中:  $k_1, k_2, \dots, k_n$  是曲线特性参数，若将  $x, y$  与曲线特性参数对调，得到下式:

$$f[(x, y), (k_1, k_2, \dots, k_n)] = 0 \tag{6}$$

由式(6)可知图像空间的曲线在参数空间映射成一点，该点由曲线特性参数决定，所以判断参数空间中各个参数点的累积值，就可以实现图像空间曲线的描述<sup>[16]</sup>。

圆心坐标为  $(a, b)$  半径为  $r$  的一般方程为:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \tag{7}$$

那么图像空间曲线点集为  $(x_i, y_i)$ ，对应于参数空间方程为:

$$(a - x_i)^2 + (b - y_i)^2 = r^2 \tag{8}$$

而在图像空间的曲线点集  $(x_i, y_i)$  对应于参数空间就会形成圆锥面簇，如图 10 所示。

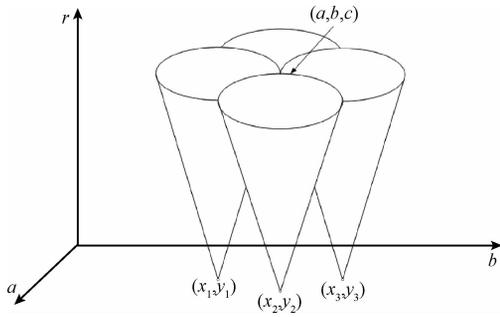


图 10 Hough 变换原理  
Fig. 10 Hough transform principle

在参数空间建立一个三维累加数组  $V(a, b, r)$ ， $r$  为变量，根据式(8)累加图像每一个像素点  $V(a, b, r)$  的值，得到最大值  $V_{\max}(a, b, r)$ ，其中  $(a, b)$  就是图像空间的圆心坐标， $r$  为半径。

经最小外接矩形确定缩放以后使二值图像得到与标准模板图相同像素尺寸标准的实际图，然后将实际图的两圆进行 Hough 变换得到圆心坐标及半径，根据两圆心连线与水平线的夹角确定图像旋转角度  $\theta$ ，如图 11 所示， $O_1, O_2$  为旋转前圆心坐标， $O_1', O_2'$  为旋转后圆心坐标。

经旋转后使得二值图像中目标物体呈现水平位置，即两圆心的横坐标相等。此时，再同时获取实际图以及标准模板图圆心坐标及半径，如图 12、13 所示。

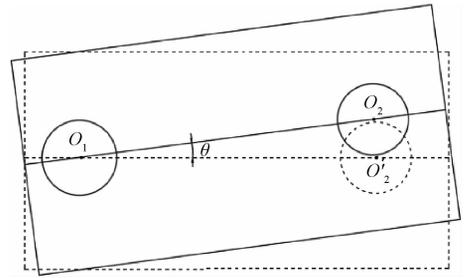


图 11 两圆心旋转前后示意图  
Fig. 11 Schematic diagram before and after the rotation of two cycle centers

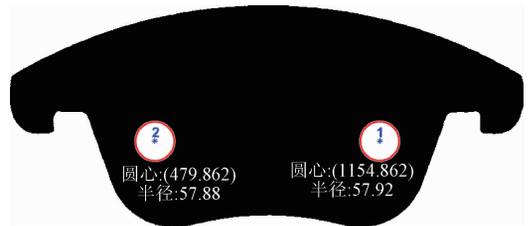


图 12 实际图旋转后 hough 变换  
Fig. 12 Hough transform after the actual image is rotated

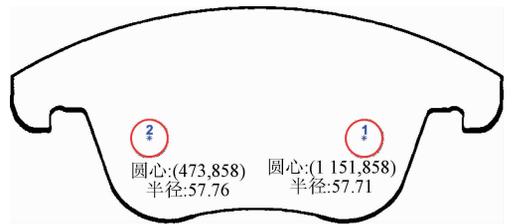


图 13 标准模板图 hough 变换  
Fig. 13 Hough transform of the standard template

由图 12、13 可得二值图像两圆心坐标为  $(479, 862)$ 、 $(1154, 862)$ ，半径分别为  $57.76, 57.71$ ，尺寸公差带图两圆心坐标为  $(473, 858)$ 、 $(1151, 858)$ ，半径分别为  $57.88, 57.92$ ，同时裁剪出两图片中以圆心连线中点为中心点的矩形，两图片大小为  $800 \times 1560$ 。

### 3.3 边缘检测及像素点判别尺寸合格性

实际图与标准模板图大小相等时，对实际图进行 robert 边缘检测，提取边缘轮廓，得到实际轮廓图。边缘检测图如图 14 所示。

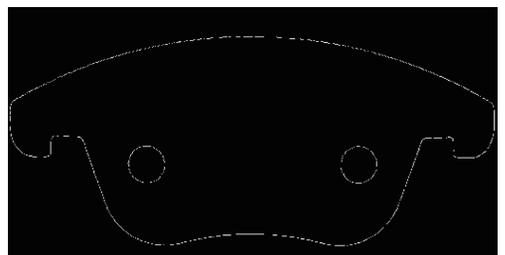


图 14 实际轮廓  
Fig. 14 Actual contour

同时将标准模板图进行取反计算,得到与实际轮廓图一致的目标物体边缘为白色,背景为黑色,统计白色像素点个数 $N$ ,再将实际轮廓图与之进行图像相加运算,统计相加运算后白色像素点个数 $N_1$ ,若 $N_1 = N$ ,待检刹车片合格如图15所示,实际轮廓图中的白色像素点都被标准模板图白色像素点覆盖;反之待检刹车片不合格如图16所示,实际轮廓图中的白色像素点没有全部都被标准模板图白色像素点覆盖。

由图15、16可知,合格刹车片实际轮廓的白色像素点都落入标准模版取反图白色像素点区域内,而不合格刹车片实际轮廓的白色像素点有部分落在了标准模版取反图白色像素点区域的外部,如图16中刹车片卡口区域。

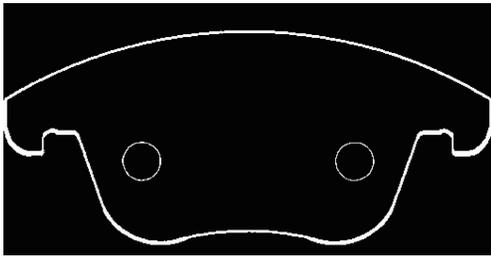


图15 合格刹车片检测结果

Fig. 15 Test result of a qualified brake pad

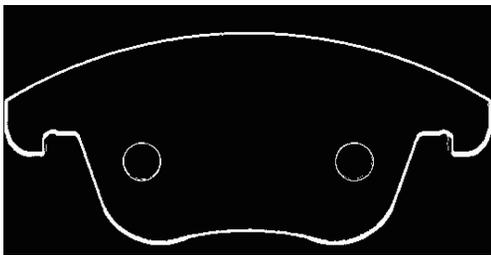


图16 不合格刹车片检测结果

Fig. 16 Test result of an unqualified brake pad

## 4 实验论证

本文采用 MATLAB2014b 平台来完成图像处理和检测算法的任务<sup>[17]</sup>。为了验证本文算法的有效性,对3片(编号1、2为尺寸合格刹车片,3为尺寸不合格刹车片)尺寸已知是否合格的刹车片进行检测,每片刹车片分别进行5次拍摄,验证算法检测结果的可行性,并将本文尺寸检测算法与常规图像处理尺寸算法相比较,比较两种算法的优缺点<sup>[18]</sup>。

### 4.1 算法检测有效性实验

在两个分辨率不同摄像头下进行实验,3片刹车片检测时到摄像头成像靶面的距离是固定的,所以这3片刹车片摄像头进行图像采集后并进行二值化后的最小外接矩形的长宽大小一致,所以放大缩小倍数一致。每个摄像头对每片刹车片分别进行5次图像采集。在分辨率为 $1\ 600 \times 1\ 200$ 摄像头拍摄下的检测结果如表1所示,在分辨率为 $2\ 592 \times 1\ 944$ 摄像头拍摄下的检测结果如表2所示。其中 $K$ 代表最小外接矩形确定的放缩倍数, $O_1$ 、 $O_2$ 表示旋转前刹车片两圆的坐标, $\theta$ 表示旋转多少角度刹车片两圆横坐标相等, $Total$ 表示尺寸公差带图取反后白色像素点个数, $Total1$ 表示实际轮廓图与标准模板图进行相加运算后白色像素点个数。

由表1、2可知,在两个分辨率不同的相机下30次检测中检测结果均正确,但是在两个相机检测结果中不合格刹车片的实际轮廓图与标准模板图进行相加运算后白色像素点个数不相等,这是由于放缩倍数所引起的误差,本文算法的最后是利用统计像素点数来判定检测结果,所以检测精度精确到一个像素点,达到 $0.001\ \text{mm}$ ,远远超过刹车片尺寸检测要求,并且检测速度达到 $5\ \text{s}$ 一片。

表1 分辨率为 $1\ 600 \times 1\ 200$ 摄像头的实验结果

Table 1 The experiment results for the camera with resolution of  $1\ 600 \times 1\ 200$

$K$	刹车片编号	$O_1, O_2$	$\theta$	$Total$	$Total1$	结果判断	
1.021	1	(504,895)、(1 179,853)	-3.5	45 600	45 600	合格	
		(488,874)、(1 163,844)	-2.4	45 600	45 600	合格	
		(475,856)、(1 150,846)	-0.8	45 600	45 600	合格	
		(481,865)、(1 156,866)	0.2	45 600	45 600	合格	
		(493,881)、(1 168,907)	2.3	45 600	45 600	合格	
	2	(572,984)、(1 241,885)	-8.3	45 600	45 600	合格	
		(553,959)、(1 221,876)	-6.9	45 600	45 600	合格	
		(489,876)、(1 164,845)	-2.5	45 600	45 600	合格	
		(486,872)、(1162,886)	1.2	45600	45600	合格	
		(503,895)、(1 177,944)	4.3	45 600	45 600	合格	
		(544,947)、(1 126,872)	-6.3	45 600	47 653	不合格	
		(508,901)、(1 182,835)	-3.9	45 600	47 653	不合格	
		3	(477,859)、(1 152,853)	-0.4	45 600	47 653	不合格
			(485,871)、(1 161,884)	1.1	45 600	47 653	不合格
			(496,885)、(1 171,920)	3.0	45 600	47 653	不合格

表2 分辨率为2 592 × 1 944 摄像头的实验结果  
Table 2 The experiment results for the camera with resolution of 2 592 × 1 944

K	刹车片编号	$O_1, O_2$	$\theta$	Total	Total1	结果判断	
0.628	1	(849,997)、(1 909,959)	-2	45 600	45 600	合格	
		(857,1 001)、(1 918,980)	-1.1	45 600	45 600	合格	
		(873,1 014)、(1 933,1 009)	-0.2	45 600	45 600	合格	
		(876,1 011)、(1 929,1 017)	0.2	45 600	45 600	合格	
		(890,1 017)、(1 912,1 035)	2.4	45 600	45 600	合格	
		(875,1 042)、(1 935,977)	-3.5	45 600	45 600	合格	
	2	(854,1 006)、(1 915,962)	-2.3	45 600	45 600	合格	
		(849,994)、(1 910,963)	-1.6	45 600	45 600	合格	
		(874,1 015)、(1 935,1 014)	0.1	45 600	45 600	合格	
		(882,1 020)、(1 919,1 029)	0.9	45 600	45 600	合格	
		3	(868,1 030)、(1 927,972)	-3.1	45 600	47 647	不合格
			(845,991)、(1 906,956)	-1.8	45 600	47 647	不合格
(863,1 007)、(1 925,992)	-0.7		45 600	47 647	不合格		
(885,1 022)、(1 915,1 035)	1.1		45 600	47 647	不合格		
		(894,1 039)、(1 927,1 066)	2.9	45 600	47 647	不合格	

4.2 与一般方法作对比

将本文方法与文献[19]的方法进行对比实验,文献[19]是一般图像处理对尺寸进行检测的步骤对刹车片进行检测的,实验结果对比表格如表3所示。

表3 实验结果对比

Table 3 Comparison of the experiment results

方法	检测尺寸范围	检测精度/mm	检测速度/(s/片)
文献[16]	两个尺寸(最大长、宽)	0.02	6
本文	全部尺寸	0.001	5

由表3可知,本文算法能检测出刹车片有尺寸要求的全部尺寸,而一般方法只能检测部分尺寸,这是一般方法的局限性,并且,本文方法在检测精度和速度上较一般方法都有所提高,所以本文的检测方法更优越<sup>[20]</sup>。

5 结 论

本文提出一种利用尺寸公差和图像处理相结合的方法检测刹车片综合尺寸。本文方法在检测尺寸时可检测出所有待检尺寸,打破了一般图像处理方法检测尺寸时只能检测部分尺寸的局限性,并且检测速度和检测精度都有所提高;提出先根据尺寸公差原理设计

刹车片尺寸允许公差控制带作为标准模板图作为比对模板,再通过一些图像处理算法使待检刹车片与标准模板得到相同标准的像素尺寸,最后利用统计白色像素点数得到检测结果的方法,本文提出的方法不仅能运用在刹车片尺寸检测上,还能推广到其他零件尺寸的综合检测。

参考文献

[1] 徐涵秋,刘华,谢鸿.“刹车片”小常识[J].四川农业与农机,2007(6):28-30.  
XU H Q, LIU H, XIE H. " Brake pad" little common sens[J]. Sichuan Agricultural Machinery, 2007(6): 28-30.

[2] 朱力强,王春薇,王耀东,等.基于特征点集距离描述的裂缝图像匹配算法研究[J].仪器仪表学报,2016,37(12):2851-2858.  
ZHU L Q, WANG CH W, WANG Y D, et al. Algorithm of crack image matching by feature points set distance description [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016,37(12):2851-2858.

[3] DAHLE O, SOMMERFELT A, MCLEOD A. On-line inspection of extruded profile geometry[C]. Vision 90-Conference Proceeding, 1990:1-17.

[4] AMINZADEH M, KURFESS T. Vision-based inspection system for dimensional accuracy in powder-bed additive manufacturing [C]. ASME 11th International

- Manufacturing Science and Engineering Conference, 2016(2):2-3.
- [5] 许光明,吴昭,周春兰,等. 基于视觉的零件尺寸测量[J]. 工业控制计算机,2015(4):111-113.  
XU G M, WU ZH, ZHOU CH L, et al. Size measurement of parts based on vision technology [J]. Industrial Control Computer, 2015(4):111-113.
- [6] 田原嫒,黄合成,谭庆昌,等. 基于机器视觉的零件尺寸测量[J]. 激光与光电子学进展,2010,47(1):82-90.  
TIAN Y Y, HUANG H CH, TANG Q CH, et al. Size measurement of parts based on machine vision [J]. Laser & Optoelectronics Progress,2010,47(1):82-90.
- [7] 王冠英,胡心平,刁维龙. 基于机器视觉的复杂形状模具尺寸测量[J]. 计算机测量与控制,2015,23(3):706-708.  
WANG G Y, HU X P DIAO W L. Complex shape die size measurement system based on computer vision[J]. Computer Measurement & Control, 2015, 23(3):706-708.
- [8] 左东祥,陈晓荣. 基于 HALCON 的刹车片尺寸和表面缺陷检测系统[J]. 电子科技,2016,29(11):78-80.  
ZUO D X, CHEN X R. Size and defect detection system of brake based on halcon [J]. Electronic Science & Technology, 2016,29(11):78-80.
- [9] 陈硕,骆腾斌,刘丰,等. 应用于水表检定的机器视觉技术研究[J]. 电子测量与仪器学报,2017,31(1):144-149.  
CHEN SH, LUO T B, LIU F, et al. Research on machine vision technology applied in water meter verification[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2017,31(1):144-149.
- [10] 蒋汉荣. 对尺寸公差带和位置公差带的理解和区分-谈定位极限尺寸确定的公差带[J]. 机械工艺师,1995(12):4-6.  
JIANG H R. Understanding and distinguishing of dimensional tolerance zones and position tolerance zones-Discussion on tolerance zones determined by location limit dimensions[J]. Mechanical Technologist, 1995(12):4-6.
- [11] 高路. 公差带图在尺寸公差与配合教学中的应用[J]. 吉林化工学院学报,2011,28(12):45-48.  
GAO L. Application of tolerance zone diagram in teaching of dimensional tolerance and fit[J]. Journal of Jilin Institute of Chemical Technology, 2011,28(12):45-48.
- [12] 邱义臻,熊焰,刘方方. 直线要素方向公差数学模型的建立[J]. 机电产品开发与创新,2016,29(4):68-70,50.  
QIU Y ZH, XIONG Y, LIU F F. The establishment of mathematical model of orientation tolerance for linear element[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2016,29(4):68-70,50.
- [13] 陶强,刘莉. 基于双区域演化水平集的图像分割方法[J]. 电子测量技术,2016,39(09):91-95,107.  
TAO Q, LIU L. Double regional evolution based on level set for image segmentation [J]. Electronic Measurement Technology, 2016,39(9):91-95,107.
- [14] 张岩. MATLAB 图像处理超级学习手册[M]. 北京:人民邮电出版社,2014:282-283.  
ZHANG Y. MATLAB image processing super learning manual[M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2014:282-283.
- [15] 侯占伟,贾玉兰,王志衡. 基于最小外接矩形的珠宝定位技术研究[J]. 计算机工程,2016,42(2):254-260,271.  
HOU ZH W, JIA Y L, WANG ZH H. Research on jewelry positioning technology based on minimum bounding rectangle [J]. Compute Engineering, 2016, 42(2):254-260,271.
- [16] 焦圣喜,肖德军,阚一凡. 霍夫变换算法在圆心视觉定位中的应用研究[J]. 科学技术与工程,2013,13(14):4089-4093.  
JIAO SH X, XIAO D J, KAN Y F. The application research of hough transform algorithm on circle center vision positioning [J]. Science Technology and Engineering, 2013,13(14):4089-4093.
- [17] 陈丹,石国良. 基于视觉几何的传送带测速方法研究[J]. 仪器仪表学报,2016,37(10):2307-2315.  
CHEN D, SHI G L. Research on velocity measurement method of conveyor belt based on view geometry [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(10):2307-2315.
- [18] 刘坤,赵帅帅,屈尔庆,等. R-AdaBoost 带钢表面缺陷特征选择算法[J]. 电子测量与仪器学报,2017,31(1):9-14.  
LIU K, ZHAO SH SH, QU ER Q, et al. R-AdaBoost strip surface defect feature selection algorithm [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2017, 31(1):9-14.
- [19] 胡琳丽,徐志玲,张新娜,等. 刹车片尺寸自动检测

装置设计[J]. 中国计量大学学报,2017,28(1):45-50.

HU L L, XU ZH L, ZHANG X N, et al. Design of automatic testing devise for brake pad size[J]. Journal of China University of Metrology, 2017,28(1):45-50.

[20] 赵军香,梁兴东,李焱磊. 一种基于图像差值的跑道异物检测算法[J]. 国外电子测量技术,2016,35(9):17-23.

ZHAO J X, LIANG X D, LI Y L. FOD detection approach based on image difference [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2016, 35 (9): 17-23.

## 作者简介



**徐志玲**,1987年于中国计量大学获得学士学位,2008年于河北工业大学获得硕士学位,现为中国计量大学教授,主要研究方向为计量测试技术与仪器。

E-mail:xuzhiling@cjlu.edu.cn

**Xu Zhiling** received her B. Sc. degree from China Jiliang University in 1987 and received her M. Sc. degree from Hebei University of Technology in 2008. Now she is a professor in China Jiliang University. Her main research interest includes measurement test technology and instruments.



**胡琳丽**(通讯作者),2015年于中国计量大学获得学士学位,现为中国计量大学硕士研究生,主要研究方向为机器视觉和图像识别。

E-mail:1067178808@qq.com

**Hu Linli** (Corresponding author) received her B. Sc. degree from China Jiliang University in 2015. Now she is a master candidate in China Jiliang University. Her main research interest includes machine vision and image identification.