基于改进的 Hough 变换缸套内面网纹夹角检测

刘乔楠,张仁杰,李倩倩

(上海理工大学,上海 200093)

摘要:目的 缸套内面网纹角是影响缸套性能的重要参数,为了在生产过程中快速准确检测出网纹角参数,剔除不合格产品,研究基于改进的 Hough 变换缸套内面网纹夹角检测方法。方法 确定缸套图像的 预处理算法,增强图像网纹特征,滤除次要信息;确定基于 Canny 算子的网纹特征边缘分割方法;确定 基于改进的 Hough 变换网纹直线特征提取方法,通过计算提取直线夹角的平均值得到缸套网纹角值。 结果 试验表明,基于改进的 Hough 变换网纹角检测结果与进口仪器检测结果相比,平均误差为 1.54%, 检测精度高。结论 提出的检测算法可准确识别缸套内表面网纹角,能很好地代替传统人工复膜检测和 昂贵的进口检测仪器,满足工业现场自动检测的需要,提高了检测的效率和精度,降低了检测成本。 关键词:网纹角;在线检测;直线特征提取; 改进的 Hough 变换 中图分类号: TP391.4 文献标识码:A 文章编号: 1001-3563(2017)15-0014-07

Detection of Crosshatch-angles of Cylinder Liner Based on Improved Hough Transform

LIU Qiao-nan, ZHANG Ren-jie, LI Qian-qian (University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The work aims to research the method to detect the crosshatch-angles of cylinder liner based on improved Hough transform, in order to rapidly detect crosshatch-angles in the production process and eliminate the rejected products, with respect to the fact that the crosshatch-angle of cylinder liner is an important parameter that affects cylinder liner performance. Firstly, the image pre-processing algorithm of cylinder liner was determined, the crosshatch features of image were strengthened and the secondary information was filtered out. Then, the crosshatch feature edge segmentation method based on Canny operator and the crosshatch linear feature extraction method based on improved Hough transform were determined, respectively. The crosshatch-angle of cylinder liner was obtained by calculating the mean value of included angle between straight lines. The test showed that, compared to the detection results of imported instruments, the average error of such results of crosshatch-angle based on improved Hough transform was 1.54% and the detection accuracy was high. The proposed detection algorithm can accurately identify the crosshatch-angles of cylinder liner, properly replace the traditional manual laminating detection and the expensive imported detection instrument, meet the requirements of automatic detection on industrial site, improve the detection efficiency and accuracy, and reduce the detection costs.

KEY WORDS: crosshatch-angles; online detection; linear feature extraction; improved Hough transform

在机械产品中,缸套是机械动力系统中的常用装置零件。珩磨网纹结构以其优异的性能普遍应用于缸 套内表面的加工中^[1]。缸套内面网纹夹角是网纹结构 的重要参数之一,其大小影响缸孔表面油膜的稳定性 和机油消耗的多少,从而影响内燃机以及液压缸等的 工作性能及寿命^[2-3],最终影响机械产品的工作效率 和使用寿命,因此对缸套内面网纹角进行实时检测, 剔除不合格产品是缸套内面加工过程中必不可少的 环节。目前缸套内面网纹角的测量有2种方法:采用 特殊制作的薄膜贴制复膜片,再放到显微镜下拍摄复

收稿日期: 2017-04-11

基金项目:上海市教育委员会重点学科建设资助项目(J50505)

作者简介:刘乔楠 (1991-), 女,上海理工大学硕士生,主攻信号与信息处理、在线检测。

通讯作者:张仁杰(1956—),男,上海理工大学教授、博导,主要研究方向为测试技术与仪器。

膜照片进行分析;采用进口仪器进行测量,其检测原 理主要是基于光学成像的检测,通过对采集图像进行 分析得到网纹角值。前者效率低,无法满足对缸套内 面快速检测的要求。后者由于专机专用,成本较高, 且需要人工操作,不便于工业现场自动检测的应用。 由此可见,寻求检测精度和效率高且价格低的缸套内 面网纹角自动检测方法就显得极为重要。

随着图像分析、特征识别及数字信号处理等技术 的快速发展,基于数字图像的检测技术可以很好地解 决上述问题, 高效的图像检测算法可以在保证检测精 度的同时提高检测效率,还可以有效控制生产成本。 Bradlev^[4]研究出了以传感器为构建基础的机器视觉 检测系统,用于实现刀具零部件表面工艺质量的检测 与分析。Lahajnar^[5]研究了基于机器视觉检测理论的 电路板检测系统。魏长宝^[6]提出边界识别噪声检测耦 合差分曲率驱动扩散模型的脉冲噪声图像降噪算法, 用于消除高密度脉冲噪声,与当前图像降噪技术相 比,能够更好地保留原图的边缘与细节特征,与真实 图像的吻合程度高。Elewa^[7]将数字图像处理技术应 用于数控铣床加工领域,以实时的方式对加工数据进 行全方位收集。Kerr^[8]研究了基于数字图像的数控机 床的刀具磨损检测系统,实现对刀具磨损的实时检测 和跟踪,确保机床的实际加工精度。Dhanasekar^[9]运 用数字图像处理技术检测评估位置发生均匀变动时 零部件表面的粗糙程度。邱超[10]研究了采用机器视觉 技术,对烟包进行图像识别及检测的软硬件平台方案 设计,为烟包高速自动化包装检测提供一种高效可行 的实施方案。胡大辉^[11]提出了一种改进的 Sobel 算子 来提取污损条码的边缘特征并进行识别,克服原算子 在边缘提取时图像线条较粗等缺陷,改进的算子能快 速有效地识别污损条码。

由于对缸套网纹角自动检测算法研究的文献较 少,而且已有的检测方法不能满足缸套网纹角在线检 测的需求,同时对网纹角的检测精度要求较高,这就 对检测方法提出了很高的要求,因此文中针对现有网 纹角检测技术的不足,研究基于改进的 Hough 变换 缸套内表面网纹角自动检测方法,确定满足内表面网 纹角测量实际需要的算法流程图,得出缸套部件内表 面网纹角的参数并进行分析,再将得出的角度与进口 仪器检测结果进行对比,验证算法的有效性,实现对 网纹角自动检测。

1 缸套内面网纹角参数

缸套网纹是指加工过程中在缸套内表面留下的 加工痕迹。在描述缸套内表面网纹的众多参数中,网 纹夹角 α 是其中相对重要的参数,见图 1, Grabon^[12–13]研究了不同网纹角度值对缸套性能的影 响。在实际应用中, 网纹夹角 a 主要有 2 种表示方法: 大于 90°的钝角, 它与缸套的轴线方向平行; 小于 90° 的锐角, 它与缸套内径的切线方向平行, 这 2 个角互 为补角。在文中, 网纹角 a 用钝角表示。若 a 角太小, 那么它的储油能力就会降低, 从而影响活塞与缸孔之 间的润滑状况, 在启动及加速过程中, 都会因机油不 足而加重活塞环的损耗。若 a 角太大, 就会影响油膜 的均匀性, 并且对油环的刮油效果有一定的影响, 还 会使机油过度燃烧, 加快机油的消耗, 造成排放超标 等恶劣影响, 因此合理的网纹角大小对缸套的性能有 重要的影响。JB/T 5082.7—2011^[14]规定气缸套轴线方 向的夹角为 125°±10°。



图 1 缸套内面网纹夹角 α Fig.1 Cross-hatch angle α of cylinder liner

2 检测算法流程

为了能在工业现场快速准确检测出网纹夹角参数,文中提出一种新的网纹角自动检测算法,整体流程见图 2。首先确定测量系统硬件,主要包括照明系统和光学镜头,采集缸套内面图像,并进行畸变校正。然后对图像进行预处理和边缘检测,再根据改进的Hough变换提取网纹角直线特征。最后根据直线特征计算出网纹角值,若满足计算精度要求,结束测量,若不满足,则调整算法参数,直至满足测量精度要求。



Fig.2 Algorithm flow chart

缸套内面网纹图像预处理算法 3

图像预处理主要通过滤除图像噪声和增强图像 对比度来提高图像画质及清晰度,降低数据量,方便 图像的后续分析处理。网纹角图像在采集过程中,由 于阴影、光照、相机聚焦等原因, 对采集的网纹图像 质量有一定影响,加大了网纹角的检测难度,因此首 先要对图像进行预处理去除这些因素对检测结果影 响。对缸套网纹图像进行预处理之后,会增强图像的 网纹特征,同时会滤除噪声等次要信息,能够快速有 效地完成图像的后期处理工作。与此同时,还能很好 地保证计算精度。在该算法中,主要运用图像灰度化、 图像增强、图像滤波进行图像预处理。

3.1 图像灰度化

为了反映图像的形态特征,便于算法的实现处 理,首先对要处理的图像进行灰度化处理,加权平均 值灰度化根据 R, G, B 等 3 个不同分量的重要性对 2个分量分配不同的权值。由于人眼对绿色的敏感度 最高,对蓝色敏感度最低,因此按式(1)所示权值进行 加权计算,将加权后的均值作为灰度化的结果,其灰 度化结果更为合理,更符合实际应用的需要。加权平 均值灰度化公式:

f(i, j) = 0.3R(i, j) + 0.59G(i, j) + 0.11B(i, j)(1)

式中: f(i,j)为灰度化后的图像; R(i,j), G(i,j), *B(i,j)*分别为 RGB 中的 *R* 分量、*G* 分量、*B* 分量; *i*, i为像素矩阵索引值。

初始采集的缸套内面网纹图像和灰度化后的网 纹内面图像见图 3, 从图 3 中不能看出原始图像和灰



a 灰度化后图像



度化图像有明显的差别。因为原始图像的颜色模式值 与灰度化图像的颜色模式值较接近,灰度化处理后肉 眼不能看出明显的不同之处。从算法程序上可以看 出,具有 RGB 分量的原始图像变成了灰度图像,减 小了图像的后期处理计算量。



原始图像与灰度化图像 图 3 Fig.3 The original image and the grayscale image

3.2 图像增强

图像增强是指按特定的需要突出图像中的某些 信息,同时,削弱或去除某些不需要的信息。由于直 方图均衡化可以增强细节,使图像熵最大,把原始图 像变成直方图均匀分布;展宽像素概率大的灰度级, 压缩概率小的灰度级, 增强图像对比度, 因此文中采 用直方图均衡化算法增强灰度化后图像的细节。直方 图均衡化算法的流程如下所述。

1) 计算原图像灰度直方图。

2) 计算各灰度级的概率密度及灰度累计分布函 数,得到映射关系。

3) 根据灰度变换表, 计算映射的灰度值, 并取整。

对灰度化后图像进行直方图均衡化处理后,得到 直方图均衡化前后效果对比,见图4。



图 4 直方图均衡化前后效果对比 Fig.4 Comparison of histogram equalization effects

从图 4 中可以看出, 跟灰度化后的图像(图 4a) 相比,经过均衡化处理后的图像(图 4c)可明显表现出 图像的细节信息,但同时也会发现图像中多出了一些 噪声点,这些噪声点是由于对图像进行非线性处理造 成的。经过计算表明,这些噪声点对算法精度影响很 小,而且直方图均衡化可以增强图像中的大部分细 节,并且可以良好地展现出隐藏在较暗区域中的细 节,所以采用直方图均衡化进行图像增强。

3.3 图像滤波

在图像获取和传输过程中,会掺杂一些不明类型 的噪声,从而降低图像质量。在初期网纹角的检测试 验中发现,采集的图像会有噪声污染,所以必须要将 噪声滤除,否则会影响网纹角的检测精度。文中对比 几种常用的滤波方法,确定最优的、适用于网纹角检 测的滤波方法。

1)均值滤波。均值滤波有较好的降噪能力,但其在

降低噪声的同时会使图像变得模糊,无法加强图像中的关键信息。对于经过均值滤波处理后的图像来说,边缘清晰度会明显下降。均值滤波处理后的图像见图 5b。

2)中值滤波。中值滤波在处理图像边缘方面要优 于均值滤波,它能够更好地保留图像的边缘信息,但 是对高斯噪声的滤除效果却不是很理想。中值滤波处 理后的图像见图 5c。

3) FIR 滤波。FIR 滤波会对灰度化、均衡化后的 原始图像进行平滑去噪等处理,增强图像的特定区 域。FIR 滤波处理后的图像见图 5d。



b 均值滤波后 c 中值滤波处理后
 图 5 滤波处理前后的对比图像
 Fig.5 Comparison before and after filtering processing

在实验中,通过椒盐噪声来模拟图像传感器、传输信道、解码处理等产生的黑白点噪声,然后对所采用的各图像滤波算法进行分析和比较。由图 5b 可知,对目标图像进行均值滤波后,会使图像网纹特征更加不清晰。由图 5c 可知,中值滤波能够很好地减少或消除椒盐噪声的影响,但是滤波后网纹特征不是很清晰。由图 5d 可知,FIR 滤波能够明显弱化椒盐噪声所产生的影响,而且还能够增强图像中的网纹特征,方便图像的后期处理,因此文中采用 FIR 滤波器。

4 基于改进的 Hough 变换网纹夹角检测

Hough 变换是利用图像全局特性将边缘像素连接起来组成区域封闭边界的一种方法^[15]。得益于其全局投票的变换思想, Hough 变换对噪声不敏感, 只需对已知目标形状进行处理, 就能得到准确的检测结果。在进行 Hough 变换之前如果能够基于图像分割技术获取缸套图像感兴趣的直线部分, 从而可以仅对图像感兴趣部分进行图像特征检测, 不仅可以减小计算量, 提高计算效率, 还可以避免非感兴趣部分对检测结果造成的影响, 提高计算精度。

4.1 图像分割

阈值分割计算简单、运算效率较高、速度快。基 于边缘检测分割法通过合理选择微分算子,可以兼顾抗 噪性和检测精度,同时还可进行并行检测,运算速度 快。考虑到在线检测对计算效率要求较高,因此文中主 要对迭代阈值分割法和基于边缘检测分割法进行分析 对比,确定适用于网纹角检测的最优图像分割算法。

4.1.1 迭代阈值分割

阈值分割依托目标区域以及背景两者存在的灰 度差别,进而由背景中分离出目标。对缸套内面图像 进行迭代阈值分割后的效果见图 6b,可以看出,采 用迭代阈值法对图像进行分割,效果不太理想,无法



a 原图 b 迭代阈值分割 图 6 基于迭代阈值分割的图像分割 Fig.6 Image segmentation based on iterative threshold segmentation

准确识别图像特征的边缘部分。

4.1.2 基于边缘分割

边缘是图像的构成元素,是具有一定特征的像素 点的集合,这些像素的灰度存在突变,广泛存在于目 标与背景之间,因此可通过边缘分割实现目标与背景 的分离。赵鸿雁^[16]对边缘检测领域常用的检测算法进 行了分析,讨论进行边缘提取时的性能。冷欣^[17]提出 一种改进的灰色关联度的边缘检测算法用于根系边 缘检测。不同的边缘检测算法适用于对不同的图像进 行处理,文中针对缸套图像分析了基于 Roberts 算子、 Sobel 算子、Prewitt 算子、Laplacian 算子和 Canny 算 子的分割效果。

基于边缘检测的图像分割结果见图 7,可以看出 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子分割后图像边 缘不连续,定位精度不高。Laplacian 算子分割效果 优于前 3 种,但是检测出的边缘受噪声影响连续性同 样较差。Canny 算子处理后的图像边缘连续、定位精 度高,同时还拥有理想的抗噪能力,所以 Canny 算子 在以上几种算子中边缘检测效果最为理想,因此文中 选用 Canny 算子作为边缘检测算法。

4.2 改进的 Hough 变换检测直线特征

提取图像边缘后,即可对边缘图像进行检测得到





直线特征。传统的 Hough 变换检测直线特征具体过程:首先聚类处理存在关联的像元素,之后通过一定的 变换将这些像元素映射到一定的位置上,接着分割处 理参数空间为累加器单元,然后在累加基础上得到峰 值点,将其连接起来就可以得到所需要的边缘曲线^[18]。

利用 Hough 变换可以实现直线的检测,但需要 准确把握量化区间,过细时会大幅增加算法的实际计 算量,过粗时又会严重削弱结果的真实性和准确性, 容易受噪声干扰引起虚假峰值,检测到伪直线,使得 提取的直线精度存在偏差。由此,在以缸套内面网纹 角为对象进行实际检测操作时,应使用存在约束条件 的 Hough 变换来实现对网纹直线特征的检测。文中 在研究直线检测操作时,对 Hough 变换进行了一些 改进处理。

1)对图像进行边缘检测,提取边缘点,将边缘 图像做 Hough 变换。

2)通过设定变换的搜索空间的相应角度,提高 检测精度,各个边应该被有效限定在一定范围内。通 过设置阈值消除过连接直线以及伪直线的产生,当角 度值小于阈值时,对其不做相应的变换。

3) 剔除变换后的矩阵中像素值大于一定值(文 中取 78) 的像素。

4)合并、拟合直线。根据直线间的夹角,用最 小二乘法拟合合并直线,来修正 Hough 变换提取直 线的精度。

文中采用 Hough 变换进行直线检测的方法如下 所述。

1) 对参数空间进行量化处理,将初始值设置为 0,要求其中各小格和一个相应的累加器保持一一对应。

2) 立足于量化的值,把图像空间所包含的各像 素点正确代入公式进行计算。如果发现计算值和量化 值非常接近时,则对这一单元格执行加1的操作。

3)把所有累加单元格的数值予以归纳,从中找 出最大值所对应的点,这便是图像空间内直线所对应 的参数。

Hough 变换结果见图 8,特征点的提取见图 8a, Hough 变换检测缸套内面网纹直线见图 8b。



-80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80 $\frac{\beta}{(\circ)}$





图 8 Hough 变换 Fig.8 Hough transform

4.3 缸套内面网纹角计算

Hough 变换矩阵以数组返回。行和列对应于表 1 中 ρ 和 β 值。 ρ 和 β 参数含义见图 9, ρ 表示原点到线 垂直方向的距离, β 表示在x轴和 ρ 向量之间的夹角。 则直线与x轴的夹角为 90°- β 或者 90°+ β 。



Fig.9 Parametric representation

根据以上实验步骤最终得出具有代表性的 10 条 线段位置,及相对于水平方向的角度。每条线段两端 点 Point1、Point2 的坐标,以及β和ρ值见表 1,表 2 中直线序号分别与图 8b 中标示的直线一一对应。

表 1 算法实验结果

Tab.1 Experimental result				
序号	Point1	Point2	β	ρ
1	[127, 136]	[708, 248]	-79	-108
2	[133, 186]	[636, 283]	-79	-156
3	[120, 88]	[635, 188]	-79	-63
4	[114, 25]	[697, 138]	-79	-2
5	[86, 233]	[628, 339]	-79	-212
6	[190, 13]	[654, 482]	-45	122
7	[145, 480]	[612, 14]	45	441
8	[41, 283]	[661, 415]	-78	-268
9	[212, 13]	[676, 477]	-45	141
10	[201, 482]	[672, 12]	45	482

根据表 1 中数据,首先利用式(2)求得每 2 条相 交线段的夹角,然后根据式(3)对角度求均值,得到的 平均角度值就是要计算的缸套内面网纹角角度值。

$$\gamma = \frac{2|\beta_i - \beta_j|}{L_i \times L_j}$$
(2)
$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \gamma_k$$
(3)

式中: γ 为 2 条线之间的夹角; L_i , L_j 为 2 条线的长度; α 为最后求得所有夹角的均值; n 的取值为 10 条线段的交点个数。

根据提出的网纹角识别算法,在 MATLAB 环境 下编写缸套网纹角检测软件,网纹夹角检测系统见图 10,最后求得结果为 α=50.1556°,即网纹角为 180°-50.1556°=129.8444°。进口检测仪器(仪器型号: Opto 043-102104-V4 CylinderInspector 2D) 检测得到 的网纹角角度为 128.99°, 检测误差为 0.66%。



图 10 网纹夹角检测 Fig.10 Detection of crosshatch-angles of cylinder liner

对 100 幅代表样本图像进行网纹角识别计算,并 与进口检测仪器检测结果进行比较,基于数字图像的 检测误差均保持在 5%以内,检测误差的平均值为 1.54%,满足检测精度需求。结果表明,文中提出的 网纹角自动检测算法可以很好地代替传统的人工复 膜检测和昂贵的进口检测仪器,大大提高了检测的效 率和精度,降低了检测成本。

5 结语

主要研究缸套内面网纹角检测算法,实现了网 纹角的快速准确检测。在该检测算法的图像预处理 部分,确定了图像灰度化、图像增强以及图像滤波 的处理方法。图像滤波去噪时,分析比较了邻域平 均法、中值滤波法和 FIR 滤波法,确定采用 FIR 滤 波法来去除噪声。图像网纹特征提取部分,确定了 网纹直线特征提取算法。首先通过图像分割算法得 到网纹图像的网纹特征边缘,通过对比不同的图像 分割方法,选取基于边缘分割的 Canny 边缘检测算 法,精确检测网纹特征边缘;再通过改进的 Hough 变换实现对分割图像直线特征的提取。对所提算法 进行了检测试验,结果表明:基于数字图像的检测 平均误差为 1.54%, 检测精度较高, 因此可以认为文 中提出的检测算法可以准确识别缸套内表面网纹 角,可满足工业现场检测的需要。由于网纹深度也 是网纹参数的一个重要检测内容,将图像识别应用 于网纹深度检测是进一步研究内容。

参考文献:

 李伯奎. 基于三维表面气缸套内孔平台珩磨网纹的 技术要求与检测[J]. 润滑与密封, 2008, 33(9): 51—54.
 LI Bo-kui. Specification and Inspection for Cylinder Liners Plateau Honing Cross Hatch Based on Three-dimensional Surface[J]. Lubrication Engineering, 2008(9): 51—54.

- [2] MEZGHANI S, DEMIRCI I, YOUSFI M, et al. Mutual Influence of Crosshatch Angle and Superficial Roughness of Honed Surfaces on Friction In Ring-Pack Tribo-System[J]. Tribology International, 2013, 66: 54–59.
- [3] BIBOULET N, BOUASSIDA H, LUBRECHT A A. Cross Hatched Texture Influence on the Load Carrying Capacity of Oil Control Rings[J]. Tribology International, 2015, 82: 12–19.
- [4] BRADLEY C, WONG Y S. Surface Texture Indicators of Tool Wear-A Machine Vision Approach[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2001, 17(6): 435–443.
- [5] LAHAJNAR F, BERNARD R, PERNUS F, et al. Machine Vision System for Inspecting Electric Plates[J]. Computers in Industry, 2002, 47(1): 113–122.
- [6] 魏长宝,张莉华.边界噪声检测耦合差分曲率驱动的脉冲噪声图像降噪[J].包装工程,2015,36(17):100—106.

WEI Chang-bao, ZHANG Li-hua. Denoising Algorithm of Impulse Noise Image Based on Difference Curvature-driven Diffusion Model of Boundary Discriminative Noise[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(17): 100–106.

- [7] ELEWA I M, GADELMAWLA E S, ABDELSHAFY A A, et al. An Application of Computer Vision for Programming Computer Numerical Control Machines[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical, 2003, 217(9): 1315–1324.
- [8] KERR D, PENGILLEY J, GARWOOD R. Assessment and Visualization of Machine Tool[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 28(7): 781-791.
- [9] DHANASEKAR B, RAMAMOORTHY B. Restoration of Blurred Images for Surface Roughness Evaluation Using Machine Vision[J]. Tribology International, 2010, 43(1/2): 268—276.
- [10] 邱超,陈兴洲. 基于 DSP+FPGA 的烟包包装缺陷视 觉检测系统研究[J]. 包装工程, 2008, 29(7): 40—42.
 QIU Chao, CHEN Xing-zhou. Visual Inspection System of Cigarette Package Faults Based on DSP+FPGA
 [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(7): 40—42.
- [11] 胡大辉. 边缘检测算法在污损条码识别中的应用研 究[J]. 包装工程, 2013, 34(3): 104—108.

HU Da-hui. Application Research of Edge Detection Algorithm in Defected Barcode Recognition[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 104–108.

- [13] GRABON W, PAWLUS P, WOS S, et al. Effects of Honed Cylinder Liner Surface Texture on Tribological Properties of Piston Ring-Liner Assembly In Short Time Tests[J]. Tribology International, 2017,113:137— 148.
- [14] 刘久万, 王明泉, 张加中. 解读新标准 JB / T5082.7 -2011《内燃机气缸套平台珩磨网纹技术规范及检 测方法》[J]. 内燃机与配件, 2013(7): 38—39.
 LIU Jiu-wan, WANG Ming-quan, ZHANG Jia-zhong. Interpretation of the New Standard JB/T5082.7-2011 (The Platform Honing Honing Technology for Cylinder Sleeve of Internal Combustion Engine Specifications and Test Methods)[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2013(7): 38—39.
- [15] 刘春阁. 基于 Hough 变换的直线提取与匹配[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2009.
 LIU Chun-ge. Line Extraction and Matching Based on Hough Transformation[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2009.
 [14] 林濟原 唐五克 漂波 基本 MATLAD 他不同公常
- [16] 赵鸿雁,唐万有,谭欢.基于 MATLAB 的不同分辨 率图像边缘检测效果的研究[J].包装工程,2009, 30(11):76—77.
 ZHAO Hong-yan, TANG Wan-you, TAN Huan. Study of Detection Effect of Image Edge of Different Resolution Based on MATLAB[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(11):76—77.
- [17] 冷欣, 宋文龙. 基于改进的灰色关联度的根系图像 边缘检测[J]. 包装工程, 2016, 37(15): 46—49.
 LENG Xin, SONG Wen-long. Root Image Edge Detection Based on Improved Gray Correlation Degree[J].
 Packaging Engineering, 2016, 37(15): 46—49.
- [18] 田福琛. 一种改进的黑片检测定位算法研究及实现
 [D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2013.
 TIAN Fu-chen. An Improved Silicon Steel Detection and Location Algorithm Research and Implementation[D]. Shenyang: Shenyang Li Gong University, 2013.