

# 基于镜面反射及图像处理技术检测管壁焊缝位置的方法

郑劲松 赵章风

(浙江工业大学机械工程学院 浙江 杭州 310023)

**摘要** 利用镜面反射原理,设置多个镜面,把截面形状为多边形的管子的每一个棱侧面成像到对应一个镜面中。利用相机拍摄镜面中的图像,一次性获取多个管壁棱侧面图像。调整镜面与管壁之间平面角呈45度,可以在镜面中获取清晰图像。通过一个位移传感器,实现在管子转动过程中让管子转正姿态的一种方法。在此基础上调用Halcon图像处理库,对拍摄到的图像进行处理,实现焊缝位置的成功检测,检测成功率在95%以上。

**关键词** 焊缝识别 图像获取技术 机器视觉 图像处理

中图分类号 TP319

文献标识码 A

DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2019.04.031

## DETECTION OF WELD POSITION ON TUBE WALL BASED ON MIRROR REFLECTION AND IMAGE PROCESSING

Zheng Jinsong Zhao Zhangfeng

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

**Abstract** Based on the principle of mirror reflection, a number of mirrors were set up to image each edge and side of a tube with a polygon cross-section into a corresponding mirror. Using the camera to take the image in the mirror, the side image of multiple tube wall edges could be obtained at one time. By adjusting the plane angle between the mirror and the tube wall to 45 degrees, a clear image could be obtained in the mirror. We realized a method to make the tube turn to the right position through a displacement sensor in the course of the tube rotation. On this basis, we called the Halcon image processing library to process the captured image, and realized the successful detection of the weld position. The detection success rate is more than 95%.

**Keywords** Weld recognition Image acquisition Machine vision Image processing

## 0 引言

很多钢管都是通过焊接制成圆形管子,再通过其他加工设备制成各种截面形状的钢管,作为制作其他产品的毛坯料。用有焊缝钢管作为毛坯,加工制作其他产品时,一般情况下,不允许在焊缝上或焊缝附近位置进行打孔等加工,因为焊缝附近硬度、韧性等加工性能变得较差。因此,在自动化生产过程中,为能顺利进行后续加工工序,需要在之前找到焊缝的位置。在目前检测焊缝的方法,一般采用色标传感器或者利用计算机图像处理技术。

对于圆形截面钢管寻找其焊接位置,可以利用色

标传感器实现焊缝位置的检测。具体方法是:在管子上方安装一个色标传感器,然后让管子转动一圈。在没有焊缝的管壁位置,管子表面光滑,光反射量均匀,在焊缝及附近位置,管壁颜色偏暗,光反射量小,与其他位置存在明显不同。因此,我们可以事先通过标定,确定一个色差范围阈值,把有焊缝与无焊缝的颜色区分开,这样利用色标传感器就可以检测焊缝位置了。实验数据表明,利用色标传感器检测焊缝的成功率达99%以上。但是对于截面形状为多边形的钢管,如八边形钢管,若采用色标传感器检测焊缝,钢管在转动一周过程中光反射不均匀,棱角边位置和焊缝位置的光反射特征接近。由于八边形管子棱侧面是由八个平面组成,平面在转动过程中,光反射存在方向性,导致光

反射量极不均匀,变化很大。这些都会导致检测成功率很低,在我们的实验中,这种方法检测焊缝位置的成功率在 50% 以下。

因此,对于非圆形的管子检测表面焊缝位置,一般采用计算机图像处理技术。用图像拍摄设备获取管子每一个侧面的图像,然后利用适当图像处理技术寻找焊缝特征,确定焊缝位置,即确定焊缝在哪一个棱侧面上,从而为后续加工中避开在该侧面上进行打孔等加工工作准备。如果通过在管子转动一周过程中,利用相机抓取每一个棱侧面图像,然后进行图像处理查找焊缝这种方法,实现比较麻烦,检测效率也受限制。这是因为:转动一周,由于要清晰地拍摄到每一个棱侧面清晰的图片,管子转动的速度不能很快,拍摄图片的相机要采用高速摄像机才能胜任,还涉及到相机与管子转动的同步问题。所以用这种方法实现比较麻烦,而且成本也高,因为这种相机一般价格较昂贵。

本文采用的方法是:利用镜面反射原理,在静止状态中一次性拍摄 8 个侧棱面图像。这种方法要求制作一个简单的装置,把反射镜面位置和角度,照明光源都要事先调试好,固定好。在检测过程中,我们唯一要做好的是在拍摄侧棱面图像时刻,要把管子转正位置,即管子的每一个侧棱面与反射镜面相互摆正位置,使管子的 8 个棱侧面都能在反射镜面中成好像。这种方法可以大大缩短获取管子棱侧面图像的时间,提高焊缝检测速度。

### 1 八角管子定位问题

在生产线上,落料后的管子位置是任意的,如图 1 (a) 中示意定位的初始位置。设管子圆心为  $O$  点,圆心到侧棱面的垂直距离为  $h$ ,圆心到棱角的距离为  $r$ ,  $h$  和  $r$  之间的夹角为  $\alpha$ ,圆心  $O$  到侧棱面垂直方向的距离为  $L$  (中间的竖直线),  $L$  是通过位移传感器实时测量的距离。此处管子截面形状为正八边形,因此  $r$  即为该正八边形外接圆的半径长,  $r$  和  $h$  之间的夹角  $\alpha = \pi/8$ ,  $h = r \times \cos\alpha = r \times \cos(\pi/8) < L < r$ 。

$$L_{\max} = r \tag{1}$$

$$L_{\min} = h = r \times \cos\alpha = r \times \cos\pi/8 = 0.923\ 9r \tag{2}$$

我们知道,管子转动的过程中,实测距离  $L$  在  $h$  和  $r$  之间变化。如果管子的初始位置如图 1 (a) 所示,管子从初始位置开始以角速度  $\omega$  rad/s 匀速转动,位移传感器的采集模块以采样频率  $f$  (利用一个高精度定时器) 进行采集,记录位移实时数据和采样时刻。当位移传感器的采集模块检测位移局部最大时的时刻为

$t1$ ,即如图 1 (b) 所示的检测位置,此时  $L$  达到最大,  $L = r$ 。



(a) 初始位置 (b) 检测位置 (c) 转正位置

图 1 八角管端面位置图

由于管子是以角速度  $\omega$  匀速转动,因此到时刻  $t2 = t1 + \Delta t$  时停止转动,此时管子已经转正,如图 1 (c) 所示。

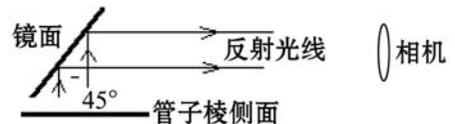
$$\Delta t = \frac{(\pi/8)}{\omega} = \frac{\pi}{8\omega} \tag{3}$$

管子转动过程中为了减小误检测率,我们在判断位移传感器数据  $L$  局部最大时,加上一个阈值  $L_{\min} = 0.98r$ ,即当实测距离  $L > L_{\min}$  时,采集程序才进行局部最大值的判断。在准确判断到实测距离  $L$  最大时,即检测到检测位置后,延迟  $\Delta t$  秒后,管子停止转动,则管子就处于转正位置。

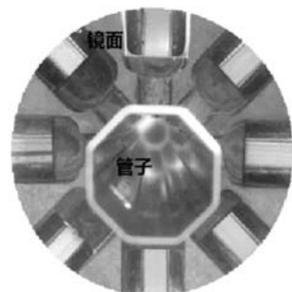
## 2 反射镜面与光源布置

### 2.1 反射镜面安装

我们制作了一个锥形喇叭口,锥面与轴线呈 45 度倾角。镜面宽度尽量与侧棱面同宽,把 8 片镜面粘贴到锥形喇叭口内表面上,镜面与侧棱面对齐,镜面与侧棱面自然呈 45 度平面夹角,见图 2 (a)。根据光反射原理,八角管子的每一个棱侧面在镜面中呈像与管子轴线垂直,与相机镜面平行,方便相机拍摄,也利于图像清晰,图 2 (b) 就是实际拍摄的八角管子棱侧面图像。



(a) 镜面反射原理图



(b) 拍摄的实际图片

图 2 基于镜面反射拍摄图像

## 2.2 光源选择与位置布置

由于管子侧壁比较光滑,所以光源的选择和光源布置的位置很重要。本文选择光柔和、光线散的红色光源,位置布置在镜面后方,能把管子棱侧面照亮,但光线尽量少地直接反射到镜面中。

## 3 图像处理

图像处理调用 Halcon 软件中的图像处理算子完成。

### 3.1 图像预处理<sup>[1-4]</sup>

预处理主要包括平滑处理和图像增强处理。图像平滑处理调用算子 `mean_image` 对图像进行均值滤波处理,从而剔除对检测结果不利的噪点。利用算子 `emphasize` 对降噪后的图像进行增强处理,为检测焊缝作准备。实际上,用镜面采集的图片,都在一个封闭的空间,受到的干扰很少,从图 2(b)中实际采集到的图像看,已非常清楚。

### 3.2 选定图像 ROI

利用 Halcon 算子 `gen_circle` 和 `difference` 算子生成一个圆环区域,再用 `reduce_domain` 算子获得图像的 ROI,如图 3(a)所示。因为管子和相机的位置是固定的,因此镜面成像位置也是确定的,为了减少处理图像数据量和不必要的干扰,我们选定一个以管子中心为圆心的一个圆环区域图像作为 ROI。实验结果证明,这样做的好处是,可以大大降低光源选择和布置要求,我们选定的 ROI 图像质量稳定,大大降低了图像处理难度,提高了检测成功率。

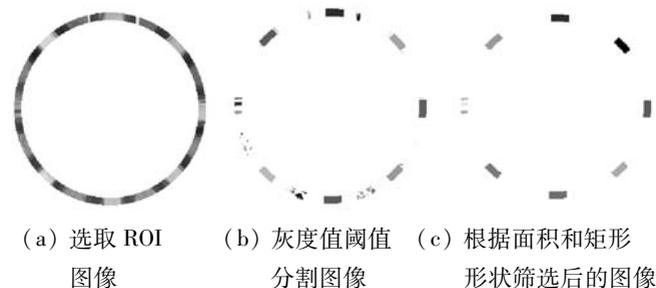


图 3 对 ROI 区域处理

### 3.3 阈值分割<sup>[1,5-6]</sup>

利用 Halcon 算子 `threshold` 对图像进行分割,得到设定灰度值的图像区域,如图 3(b)所示。从原始图像图 2(b)可以看出,管子的棱侧面在光源照射下,在镜面中的成像相对比较亮,亮度均匀,也就是在图像中它们的灰度值一致,在一个小的范围内,并且与其他区域灰度值差较大(这是因为管子棱侧面金属表面都比较光滑)。因此,我们可以用固定阈值分割算子获得目

标区域,效果理想。从图 3(b)可以看出,在两个棱侧面之间,还有许多大块的区域,这是因为粘贴镜面的锥形内壁也是金属的,表面没有进行粗糙和涂黑处理,处理后,这些区域在图像中也呈黑色区域。

### 3.4 区域筛选

管子 8 个棱侧面在阈值分割后的图像中面积大且在一定范围内,棱侧面形状为矩形,因此可以用 Halcon 算子 `select_shape` 筛选出我们需要的八个面。首先用面积大小来筛选,设定 `area = [60, 300]`;其次,根据矩形度来筛选, `rectangularity = [0.85, 1]`。结果如图 3(c)所示。实际上,如果把粘贴镜面的锥形表面进行粗糙和涂黑处理后,根据固定阈值分割后的图像如图 4(b)所示。我们只需要根据面积进行筛选,因为除了棱侧面位置,图像其他位置根据阈值分割后都是一些孤立的、面积很小的区域,因此设定 `area = [200, 300]` 选择形状,结果如图 4(c),焊缝所在的面被过滤掉了,因为焊缝所在的面,在焊接过程中的高温,使得焊缝附近表面较暗,在图像中这个区域的灰度值偏小。利用固定灰度阈值分割后,这个面被分割成几个小的区域,这些区域的面积明显变小。因此可以根据面积的大小来判断焊缝在哪一个面上。

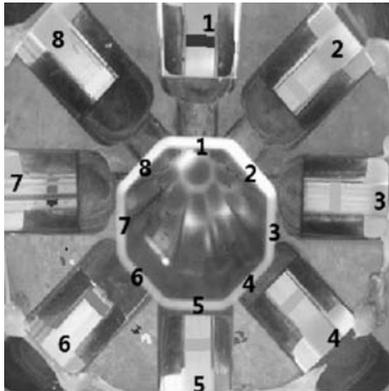


图 4 图像分割

### 3.5 焊缝面检测

下面我们示例说明焊缝检测过程。首先获取镜面中的原始图像,如图 5(a)所示。根据以上步骤,我们根据面积进行筛选,得到了一些区域,如图 4(c)所示。在实验中,大部分情况下我们可以得到 7 个和 8 个独立的区域,这些区域就是管子棱侧面在图像中的位置。对于这些区域的矩形度、矩形方向角和矩形位置等数据,在 Halcon 软件中都可以用算子得到。利用矩形方向角和矩形位置,可以确定棱侧面位置,如图 5 所示。如果有 8 个面,认为面积最小的那个区域位置就是焊缝所在位置;如果只有 7 个区域,则缺失的那个区域就是焊缝所在位置。如果根据以上步骤筛选得到的区域个数多于 8 个,则根据区域的矩形度、矩形方向角和矩形位置等参考数据,如图 5(b)所示,可以过滤掉不是管子棱侧面所在的区域;如果图像区域少于 7 个,则需

要对阈值分割后的区域(如图 4(b)所示)进行平均灰度值计算,平均灰度值 = 区域灰度值总和/区域面积(像素数量),平均灰度值最小区域就是焊缝所在棱侧面。



(a) 镜面中拍摄到的管子 8 个棱侧面及其编号

编号	角度	位置
1	0	70,200
2	-45	110,290
3	90	200,320
4	45	280,290
5	0	320,200
6	-45	290,115
7	90	200,75
8	45	110,115

(b) 管子转正后 8 个棱侧面的角度和位置参考数据

图 5 焊缝检测结果示例图

利用 Halcon 图像处理库对通过镜面反射方法获得的图片进行处理,焊缝位置的检测成功率很高。通过多日测试,对实际打孔后的伞杆进行人工抽检,软件统计数据符合实际检测结果。如图 6(a)所示,2017 年 7 月 8-9 日 2 天数据是调试得到的统计数据,检测调试用的伞杆是质量比较好的新杆,表面干净,焊缝明显。其中未检数量和变形数量就是焊缝检测不成功的伞杆数量,焊缝检测成功率 = (检测总量 - 未检数量 - 变形数量)/检测总量,焊缝检测成功率在 99% 以上;图 6(b)是一家伞杆质量一般的企业实际运行焊缝检测统计数据,焊缝检测成功率 = (363 531 - 6 625)/363 531 = 98%。

序号	生产时间	未检数量	变形数量	检测总量	运行时间
1	2017年07月04日	0	0	1325	4:13:37
2	2017年07月07日	13	0	5691	4:8:1
3	2017年07月08日	64	0	23068	14:8:10
4	2017年07月09日	47	2	19602	13:5:8
合计:		125	2	48896	35:34:56

(a) 测试统计数据

总生产时长(秒)	810 354
送料次数	363 531
成品数量	353 009
定位未成功次数	6 625
冲压超时故障次数	1 120
焊缝检测未成功数	2 777

(b) 实际运行统计数据

图 6 焊缝检测统计数据

## 4 结 语

1) 利用镜面反射原理,相机拍摄一次,可以一次性获得管子 8 个棱侧面图像,降低了对相机的技术要求;通过对图像 ROI 的选取,降低了光源的要求;获得了较清晰的图像,为后续图像处理有了很好的保障。

2) 由于管子棱侧面表面光滑,在光源照射下,管子棱侧面和镜子的相对位置在镜面中比较明亮。利用 Halcon 软件中固定阈值区域分割算子,快速地得到了管子棱侧面在图像中的区域。

3) 本方法检测正确率高、响应快。实验表明,焊缝检测成功率为 95% 以上,检测时间为 20 ~ 100 ms,达到了很好的效果。

## 参 考 文 献

- [1] Nixon M S, Aguado A S. 计算机视觉特征提取与图像处理 [M]. 杨高波,李实英,译. 3 版. 北京:电子工业出版社, 2014.
- [2] Bradski G, Kaehler A. 学习 OpenCV(中文版) [M]. 于仕琪,刘瑞祯,译. 北京:清华大学出版社,2009.
- [3] 庾兴兵,徐志根. 基于 HALCON 的钢轨表面缺陷检测技术研究[J]. 铁路计算机应用,2017,26(11):63-68.
- [4] 张为民,钟碧良. 基于数学形态学的水下焊接图像处理 [J]. 计算机应用与软件,2011,28(5):131-134.
- [5] 杨宁,张培林,任国全. 一种自适应加权中值滤波方法的研究[J]. 计算机应用与软件,2010,27(12):37-39.
- [6] 刘振宇,赵彬,邹凤山. 机器视觉技术在工件分拣中的应用[J]. 计算机应用与软件,2012,29(11):87-91.
- [7] 张驰,李远波,王梅梅,等. 基于 Halcon 的电声器件焊点定位系统[J]. 电焊机,2017,47(3):49-53.
- [8] 廖高华,甘志梅,吴园. 管道焊缝检测视觉图像处理的研究[J]. 焊接技术,2011,40(6):33-36.
- [9] 丛焕武,郭福娟,吕飞,等. 基于 CCD 图像处理的焊缝识别技术研究[J]. 电子测量技术,2012,35(3):73-77.
- [10] 孙朝云,褚燕利,樊瑶,等. 基于 VC++ 路面裂缝图像处理系统研究[J]. 计算机应用与软件,2009,26(8):82-85.