

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2210137

Y型管接头组对焊接间隙视觉检测方法研究*

李金洋 沙杰 胡森龙 鲁庆洋 周高伟 刘梦园

(河南工业大学机电工程学院 郑州 450000)

摘要: 针对日前Y型管接头组对焊接间隙人工检测误差较大的问题,提出了一种基于改进Canny算法的Y型管接头组对焊接间隙视觉检测方法。该方法首先对Y型管接头间隙图像进行多尺度细节增强处理,减少滤波导致图像细节信息缺失的影响;其次,利用Otsu最大类间方差法进行阈值选择,降低了人工选取阈值带来的缺陷;最后设计了一种提取特征点计算间隙量的算法,实现了对Y型管接头间隙的测量。实验结果表明,本文使用的方法能够准确、直接检测出Y型管接头组对的间隙量,满足了实际生产中管接头间隙质量检测的要求。

关键词: Y型管接头;间隙量;多尺度细节增强;改进Canny算法

中图分类号: TG441.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Research on the visual detection method of welding gap of Y-type pipe joint group

Li Jinyang Sha Jie Hu Senlong Lu Qingyang Zhou Gaowei Liu Mengyuan

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Aiming at the problem of large error in manual inspection of welding gap of Y-type pipe joint set, a visual inspection method for welding gap of Y-type pipe joint set based on improved Canny algorithm was proposed. Firstly, the Y-joint clearance image is enhanced with multi-scale details to reduce the influence of image details missing caused by filtering. Secondly, Otsu maximum inter-class variance method is used for threshold selection, which reduces the defects caused by manual selection of threshold. Finally, an algorithm is designed to extract the characteristic points and calculate the clearance, which can measure the clearance of Y-type pipe joint. The experimental results show that the method used in this paper can accurately and directly detect the clearance amount of Y-type pipe joint pairs, which meets the requirements of joint clearance quality detection in actual production.

Keywords: Y-type pipe joint; the interval; multi-scale detail enhancement; improve Canny algorithm

0 引言

当在现场对Y型管接头进行焊接时,目前基本采用人工对管接头处的间隙利用游标卡尺或塞尺完成检测,再执行焊接操作。由于管接头的主管与支管之间夹角为锐角或钝角,人工对管接头的间隙测量存在着检测不方便或不准确等问题。因此,在Y型管接头焊接前采用非接触式测量方法进行间隙量检测,能够提高焊接自动化水平,缩短准备时间,对保证管接头焊接成形质量具有重要作用。

对于焊接工件的非接触式测量方法,国内外学者都开展了一定的研究。Satoshi等^[1]利用神经网络和自适应控制结合的方法,通过对熔池的图像获取,测量出熔池的宽度。Lauer等^[2]开发了一种管道的3D测量程序,在切割过

程中规划测量管道几何尺寸,最后通过调整管接头的根部间隙来获得恒定的接缝交叉部分。张阳洋等^[3]提出了一种基于遗传算法的激光跟踪测量的方法,对液氧贮箱环缝装焊进行在位检测。张鹏贤等^[4]通过建立管道焊口间隙量与错边量、断点与拐点的对应关系,提出了间隙量与错边量的激光视觉检测方法。上述方法都是对直管或金属板材对接焊开展研究,均未涉及Y型管接头间隙检测的研究。

针对Y型管接头组对焊接时存在间隙不均匀导致焊缝成形质量下降的问题^[5],提出了一种基于改进Canny算法的Y型管接头组对焊接间隙视觉检测方法。该方法首先对Y型管接头间隙图像进行多尺度细节增强处理,减少传统Canny算法中滤波导致图像细节信息缺失的影响。针对传统Canny算法存在人为选择阈值带来的缺陷,引入

收稿日期:2022-05-27

* 基金项目:河南省教育厅自然科学基金(20A460008)项目资助

Otsu 最大类间方差法的原理,实现了对图像进行自适应阈值选择,最后提取特征点计算物理值。

当 Y 型管接头在 TIG 焊接的工艺要求下,经过大量实验获取的经验得知,当支管与主管轴线组成平面的法平面上的两个交点间隙量差值低于 0.5 mm 时,间隙量满足后续焊接质量的要求。本文通过设计间隙测量的算法计算出 Y 型管接头组对的间隙量,对测量的结果做了评判,实验结果满足了实际生产中管接头间隙质量检测的要求。管接头俯视图如图 1 所示,侧视图如图 2 所示。

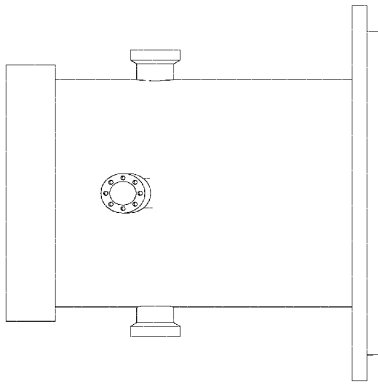


图 1 Y 型管接头俯视图

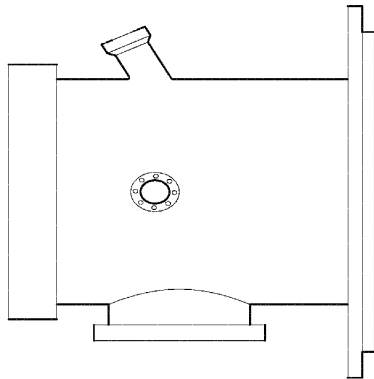


图 2 Y 型管接头侧视图

1 视觉检测系统方案设计

用于搭建 Y 型管接头组对焊接间隙的视觉检测系统如图 3 所示,包含 CMOS 工业相机、一字型激光、计算机图像采集软件及其它部件。由于主管与支管呈一定倾角,单一的一字型激光从侧面角度照射管接头间隙会产生阴影,且无法覆盖另一侧的间隙。故将两个红色一字型激光分别设在主管与支管相交轴线的两侧,保证激光光线能照射到管接头间隙的两侧。

在 Y 型管接头组对时,经过对场景分析,仅需测出支管与主管轴线组成平面的法平面上的两个交点间隙量差值,即可代表组对管接头的整体间隙值。将工业相机架设在主管轴线与支管轴线组成平面的法平面正上方,两个一字线红光激光管分别在其法平面的两侧 30°射向 Y 型管接

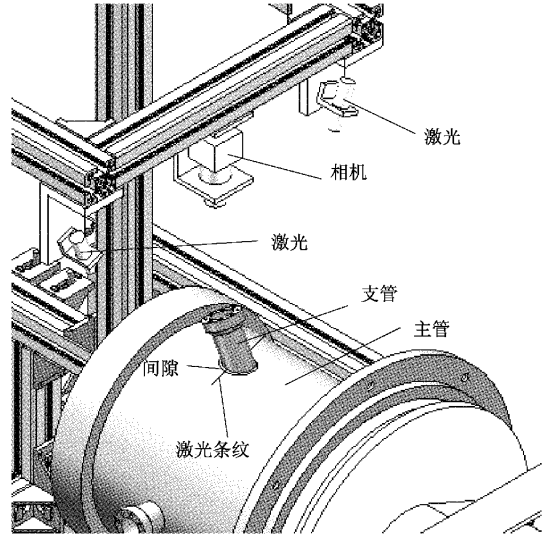


图 3 视觉测量方案

头,在接口间隙处形成一道重叠的激光条纹。通过提取激光条纹在间隙处的特征点,利用像素坐标变换求得实际物理值,图像处理流程如图 4 所示。

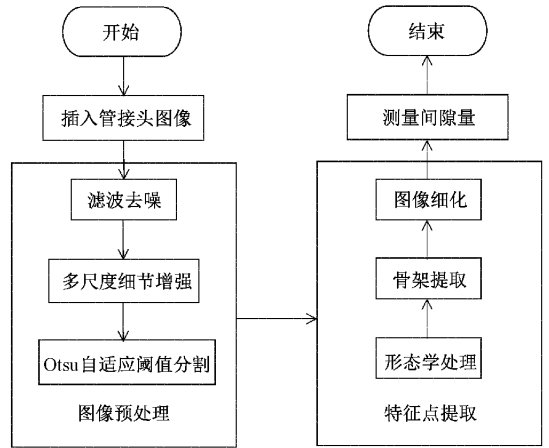


图 4 检测图像处理流程

2 融入多尺度细节增强和 Otsu 的改进 Canny 算法

在 CMOS 摄像机采集图像之后,传送给计算机进行管接头间隙量图像处理。首先除去管接头图像中的干扰信息,保留图像细节,然后通过设计的间隙量提取算法提取特征信息。针对传统 Canny 算法存在管接头滤波缺失图像细节和人工选择阈值适应性差的缺点^[6-10],对 Canny 算法做了改进。

2.1 多尺度细节增强

由于金属管接头在常规条件下易发生反光现象,采用多尺度细节增强方法^[11],实现 Y 型管接头目标间隙的对比度增强。该方法使用了 3 个不同尺度的高斯核,与滤波后的图像做减运算,获得不同程度的细节信息,然后以加权融

合的方式将图像细节附加到中值滤波后的图像中,从而增加图像信息。

设原始图像为 T_0 , 高斯核为 G , 则可以得到新的图像 Q :

$$T_i = G_i \cdot T_0, i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

$$Q_{j+1} = T_j - T_{j+1}, j = 0, 1, 2 \quad (2)$$

$$Q_4 = \omega_1 Q_1 + \omega_2 Q_2 + \omega_3 Q_3 \quad (3)$$

$$Q = Q_4 + T_0 \quad (4)$$

式(1)中 G_1 、 G_2 和 G_3 是不同标准差的高斯核; T_1 、 T_2 和 T_3 分别为经过不同高斯滤波处理后图像。式(2)中 Q_1 、 Q_2 和 Q_3 分别为细节程度相差的图像。根据 Y 型管接头的图像, 由于反光以及作业工况存在焊接烟雾等干扰, 通过实验对比, 式(3)中 ω_1 、 ω_2 和 ω_3 为权重分别取值 0.25、0.5 和 0.5。增强后的间隙量细节图像 Q_4 是由细节程度相差的图像通过在不同加权后得到的。在原始图像 T_0 的基础上, 再叠加该细节图像 Q_4 , 得到细节增强后的最终图像。管接头的间隙原始图像如图 5 所示, 多尺度细节增强的效果如图 6 所示。

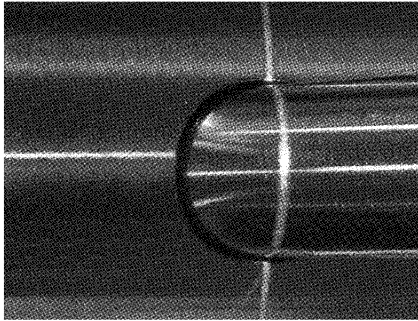


图 5 管接头间隙原始图像

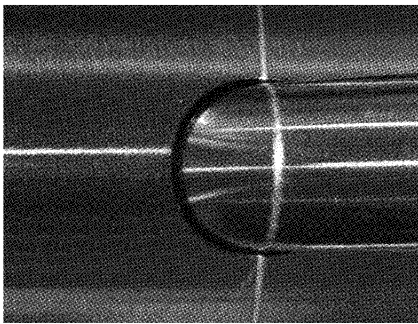


图 6 多尺度细节增强效果

2.2 自适应 Otsu 阈值分割

传统 Canny 算法是人为的对高阈值和低阈值进行选择, 因此这种方法的适应能力较差^[12]。Otsu 最大类间方差法是一种对阈值自适应选择的方法^[13], 该技术主要用于图像的二值化处理。自适应 Otsu 阈值分割算法的原理为: 设阈值将图像的灰度直方图分割成前景和背景, 本文中前景对应的是激光条纹和间隙。能够使得前景与背景类间方差最大的灰度值, 即能得到前景与背景之间的最佳分割阈

值。设 Y 型管接头图像分割成两个部分, 分别为 C_0 和 C_1 。 p_0 和 p_1 则为 C_0 和 C_1 部分像素点数占图像的比例, u_0 、 u_1 分别为 C_0 和 C_1 部分像素点的平均灰度值, 整幅 Y 型管接头图像的平均灰度设为 u 。则有:

$$p_0 \cdot u_0 + p_1 \cdot u_1 = u \quad (5)$$

$$p_0 + p_1 = 1 \quad (6)$$

管接头图像区域的类间方差 σ_B^2 为:

$$\sigma_B^2 = p_0(u_0 - u)^2 + p_1(u_1 - u)^2 \quad (7)$$

优化后类间方差 σ_B^2 为:

$$\sigma_B^2 = p_0 \cdot p_1(u_0 - u_1)^2 \quad (8)$$

则 Otsu 算法的最佳阈值为:

$$t^* = \underset{0 \leq t \leq T-1}{\text{Arg max}} (p_0 \cdot p_1(u_0 - u_1)^2) \quad (9)$$

根据管接头焊接工艺, 将获取的最佳阈值 t^* 作为 Canny 算法中的高阈值, 为了减少算法的计算量, 提高算法效率, 将低阈值设置为 $0.5t^*$ 。如图 7 所示, 传统 canny 算法处理图像存在较多噪声干扰。本文提出的 canny 算法较传统 canny 算法有一定的改进, 如图 8 所示, 消除了部分噪声, 更加清晰的凸显了局部细节, 为后续间隙检测提供了基础。

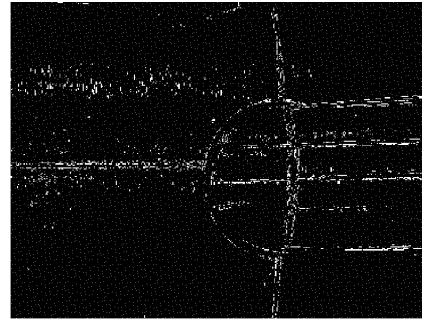


图 7 传统 canny 算法图像

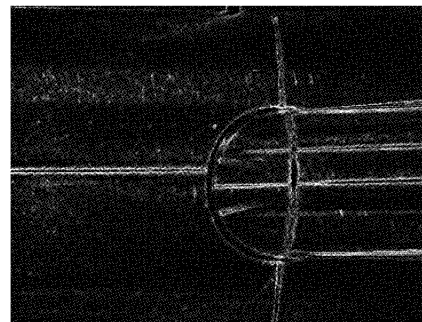


图 8 本文改进算法图像

2.3 间断点的提取

在通过一系列的形态学处理、骨骼化、亚像素轮廓操作后^[14-15], 再将亚像素轮廓在灰度梯度方向上进行多项式插值计算。其后, 将计算后得到坐标作为条纹像素坐标^[16]。

由上述方法将获取的条纹像素坐标赋值给 $F(x, y)$ 二维数组中, 获得 Y 型管接头间断点的坐标值。判定间断点为当任意两点 x_{a+1} 、 x_a 和 x_{b+1} 、 x_b 对应的条纹像素坐标点间距存在为像素坐标单位 e 的 m ($m \geq 3$) 倍以上时, 则这 4

个点为间断点 A_1 、 A_2 、 B_1 和 B_2 ，如图 9 所示。

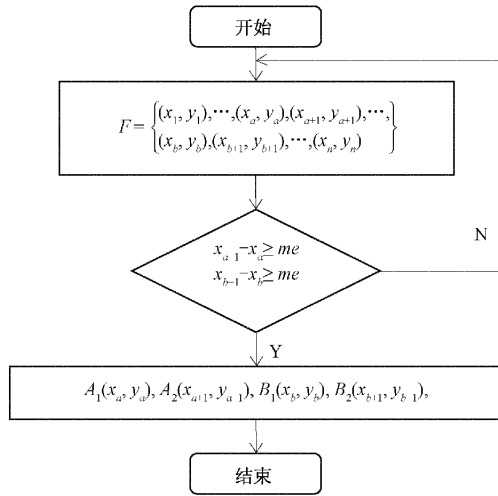


图 9 断点坐标获取流程

2.4 间隙测量算法的实现

通过对条纹断点的提取，利用条纹断点与管接头间隙对应的空间几何关系，提出了一种 Y 型管接头间隙量的求取算法。式(10)和(11)为 Y 型管接头两侧间隙量 A' 和 B' 的计算公式，即：

$$A' = \frac{x_{A_1 A_2}}{\alpha} \tag{10}$$

$$B' = \frac{x_{B_1 B_2}}{\alpha} \tag{11}$$

$$J' = \left| \frac{x_{A_1 A_2}}{\alpha} - \frac{x_{B_1 B_2}}{\alpha} \right| \tag{12}$$

式中： $x_{A_1 A_2}$ 表示 A_1 、 A_2 两点在 x 轴投影间距离； $x_{B_1 B_2}$ 表示 B_1 、 B_2 两点在 x 轴投影距离； α 为像素当量^[17]，为检测系统在相机标定时所做的工作； J' 为视觉系统间隙测量值，即管接头两侧间隙量的差值，可作为评价指标，间隙量算法的原理如图 10 所示。根据国标 GB 50236—2011 规定，考虑到管接头焊接工艺要求，当间隙量评价指标 $J' \leq 0.5$ mm 时，即为间隙量合格，管接头满足后续焊接质量的要求。

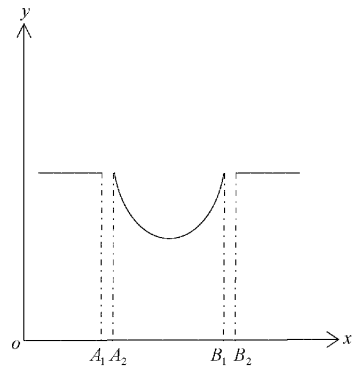


图 10 间隙量的计算原理图

3 实验验证

3.1 实验环境

本文搭建的实验平台包括处理器为 Intel(R) Core (TM)i5-10400CPU@2.90 GHz，配备 RAM 为 16GB 的 PC 机，图像采集工具使用 acA3800-10gc 工业相机，镜头为焦距 12 mm 的 UN-TFA1218C 镜头，图像处理编程环境采用 matlab2018a；两个一字型红色激光光源配置为波长 635 nm，功率 500 mw。本文使用 3 级精度的 80 mm 标准量块作为标定物，对该标定物进行视觉测量得到像素尺寸，进而求取像素当量。

3.2 实验结果分析

为了验证本文提出的 Y 型管接头间隙测量方法具备有效性，将采用视觉测量系统获得的间隙量数据结果与人工采用游标卡尺获得的间隙量数据结果进行对比。表 1 为以上两种方法针对管接头 8 个位置随机组对进行测量的结果，每个位置的间隙量数值均代表管接头两侧间隙量的差值。 J 表示游标卡尺对 Y 型管接头间隙的测量值， J' 为视觉系统对 Y 型管接头间隙的测量值。根据文中 2.4 节提出的 Y 型管接头间隙量评价指标，分析 8 组管接头的间隙量，对组对质量是否合格进行了判定，以便于后续焊接质量的控制，如表 2 所示。

表 1 间隙量测量结果

评价位置	位置 1	位置 2	位置 3	位置 4	位置 5	位置 6	位置 7	位置 8
游标卡尺间隙量 J /mm	0.25	0.53	0.65	0.32	0.47	0.29	0.58	0.39
视觉系统间隙量 J' /mm	0.25	0.54	0.66	0.33	0.48	0.29	0.59	0.39

表 2 间隙量评价结果

评价位置	位置 1	位置 2	位置 3	位置 4	位置 5	位置 6	位置 7	位置 8
游标卡尺间隙量 J /mm	合格	不合格	不合格	合格	合格	合格	不合格	合格
视觉系统间隙量 J' /mm	合格	不合格	不合格	合格	合格	合格	不合格	合格

对 Y 型管接头间隙量测量结果和判定结果进行了分析，实验表明人工使用游标卡尺方法测量结果与视觉测量

系统结果误差小于 0.05 mm。根据实际生产中间隙量的允许误差值，视觉系统测量结果满足精度要求。

根据两种方法的间隙量评价结果基本一致,现对部分位置合格与位置不合格的管接头进行焊接实验,验证系统评价结果是否可靠。如图11所示,经过系统检测合格的管接头在焊接处理后,焊缝均匀,无局部熔合不良现象,焊接质量较好。图12为系统检测不合格的管接头图像,在经过焊接后可见上侧存在气孔,导致管接头的气密性不好,影响焊接质量。由实验可知,Y型管接头视觉检测系统能够满足焊接工艺评价要求。

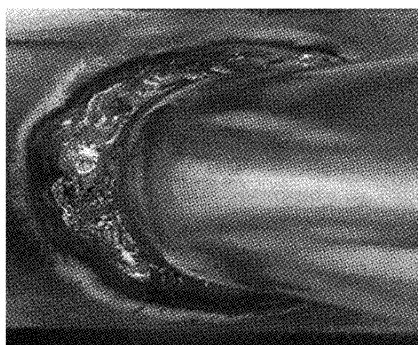


图11 检测合格的焊接图像

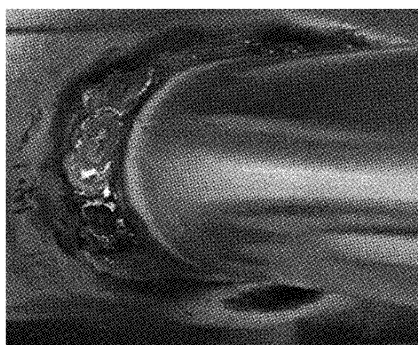


图12 检测不合格的焊接图像

4 结 论

通过对Y型管接头视觉检测系统的搭建,实现了图像精确采集,满足了试验要求与分析要求。采用融合多尺度细节增强和Otsu的Canny改进算法对激光条纹进行提取,最终确定Y型管接头间隙位置坐标信息,完成间隙量的测量。实验表明,本文使用的方法能够准确、直接检测出Y型管接头组对的间隙量,满足了实际生产中管接头间隙质量检测的要求,为Y型管接头间隙检测提供了方法参考。

参考文献

- [1] SATOSHI Y, MATSUO K. Gap detection using convolutional neural network and adaptive control in robotic plasma welding[J]. International Journal of Automation Technology, 2019, 13(6): 796-802.
- [2] LAUER S, AMBROSAT T, WANNER M C, et al. Measurement based robot cutting as preparation for

welding tubular connections[M]. Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics, 2020: 173-182.

- [3] 张阳洋,王玉坤,崔凡,等.基于激光跟踪仪的大型薄壁贮箱环缝装焊在位测量技术[J].机械设计与研究,2019,35(4):144-150.
- [4] 张鹏贤,韦志成,刘志辉.管道焊口间隙量与错边量的激光视觉检测[J].焊接学报,2018,39(11):103-107,133-134.
- [5] KUMAR V, ALBERT S, CHANDRASEKHAR J, et al. Performance evaluation of arc welding process using weld data analysis[J]. Transactions of the Indian Institute of Metals, 2018, 71(12): 3063-3075.
- [6] 吴京城,洪欢欢,施露露,等.反背景差分结合Otsu的细胞图像分割方法[J].电子测量与仪器学报,2021,35(4):82-89.
- [7] 刘宇涵,闫河,陈早早,等.强噪声下自适应Canny算子边缘检测[J].光学精密工程,2022,30(3):350-362.
- [8] 李健,刘孔宇,任宪盛,等.基于自适应阈值的Canny算法在MRI边缘检测中的应用[J].吉林大学学报(工学版),2021,51(2):712-719.
- [9] 刘端飞,单宝明.改进的Canny算法在不锈钢板焊缝识别中的应用[J].电子测量技术,2019,42(14):127-130.
- [10] 王树强,周游,陈昊雷,等.基于激光视觉的钢结构焊缝图像处理系统[J].焊接学报,2022,43(2):101-105,112,120.
- [11] KIM Y, KOH Y J, LEE C, et al. Dark image enhancement based on pairwise target contrast and multi-scale detail boosting[C]. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2015: 1404-1408.
- [12] 李靖,王慧,闫科,等.改进Canny算法的图像边缘增强方法[J].测绘科学技术学报,2021,38(4):398-403.
- [13] XIAO L, OUYANG H, FAN C, et al. Gesture image segmentation with Otsu's method based on noise adaptive angle threshold[J]. Multimedia Tools and Applications, 2020, 79(47): 35619-35640.
- [14] 阙禄松,王明泉,张俊生,等.基于Canny算子和形态学滤波的焊缝图像背景去除技术[J].国外电子测量技术,2020,39(1):10-14.
- [15] 李开平,蔡萍.数字图像相关方法的亚像素算法性能研究[J].仪器仪表学报,2020,41(8):180-187.
- [16] 刘源,夏春蕾.一种基于Sobel算子的带钢表面缺陷图像边缘检测算法[J].电子测量技术,2021,44(3):138-143.
- [17] 段振云,庞文琦,张静,等.基于逻辑回归的测量图像亚像素边缘定位[J].组合机床与自动化加工技术,2021(12):97-100.

作者简介

李金洋,硕士研究生,主要研究方向为视觉检测与自动焊接。

E-mail:571798510@qq.com

沙杰(通信作者),教授,主要研究方向为智能制造等。

E-mail:shajie0303@163.com