

图像处理在低压铸造机器人下芯检测中的应用

韩伟, 段海峰, 颜建, 任创新, 刘楚生

(华南理工大学广州学院 机械工程学院, 广东广州 510800)

摘要: 电动汽车铝合金水冷机壳低压铸造生产过程中, 使用机器人将螺旋砂芯在高温状态下装入模腔时, 难以判别经过夹持搬运的砂芯是否损坏, 以及定位是否准确。探索如何运用 Matlab 图像增强、图像锐化和图像分割等技术方法, 提高图像成分的清晰度, 使图像变得有利于视觉控制软件处理。通过灰度阈值分割法确定螺旋砂芯边缘几何尺寸, 注册成为模板进行快速检测判断, 使没有准确安放或者有部分损坏的螺旋砂芯在最短时间内得到识别, 从而实现对铸件成形前精细质量控制, 为实现数字化低压铸造奠定基础。

关键词: 螺旋砂芯; 图像增强; 图像锐化; 阈值分割; 几何要素

在电动汽车铝合金水冷机壳低压铸造生产中, 需要在高温状态下将螺旋砂芯按照一定的位置精度要求放置入型腔中, 其后铝合金金属液经升液管进入型腔后凝固, 形成机壳内部的薄壁中空冷却水道结构。目前企业生产中正在推行机器人下芯来替代人工操作的高温作业难度, 使用机器人夹持、运送和放入型腔作业后, 由于螺旋形状砂芯结构复杂强度不高, 机器人夹持下芯过程中容易发生破损, 下芯后没有有效的几何位置检测手段, 铝合金铸件内部冷却水道的成形尺寸精度得不到保障。生产企业多采用下芯现场人工目视检测法和成形后的破坏性检验, 检测结果易受操作人员的主观影响, 给产量增加和质量提升造成了很大困难。实践中运用 Matlab 图像增强技术, 通过图像增强和图像锐化等方法, 改善了图像的二值化视觉效果^[1-2]。将螺旋砂芯与模具、空白背景等之间的几何特征边缘浓度级别进行标定, 提高图像成分的清晰度, 优化检测敏感度及处理时间, 使图像有利于计算机软件处理, 实现螺旋砂芯在模腔内安装结果的快速扫描测量和反馈, 推动铝合金低压铸造精细质量控制和智能化控制技术发展。

作者简介:

韩伟 (1963-), 男, 高级实验师, 主要研究方向为有色合金铸造技术及装备。电话: 13632201698, E-mail: 1786891960@qq.com
通讯作者: 段海峰, 男, 实验师, 硕士。电话: 15102081318, E-mail: 290033313@qq.com

中图分类号: TP216
文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2021)06-0717-05

基金项目: 2018年广东省普通高校特色创新项目(自然科学, 2018KTSCX325)。
收稿日期: 2020-11-20 收到初稿, 2021-01-06 收到修订稿。

1 机器人下芯视觉检测控制设计方案及工作流程

1.1 机器人下芯视觉检测控制方案

图1所示为水冷机壳低压铸造机器人下芯视觉系统设计方案, 检测对象螺旋砂芯位于模腔底座上。利用低压铸造机的四立柱结构安装视觉检测设备, 将二个光源安装在附加的左、右横梁正中间位置, 使其处于清晰的光源照射范围内, 光源的高度和照射角度可以根据现场拍摄图像的清晰度情况进行调节。视觉控制系统包括台达品牌的2 500万像素GiGE型彩色相机、二个光源、DMV1000视觉控制器和彩色液晶显示器, 配备了PC-BASE机器视觉软件。

1.2 机器人下芯视觉检测工作流程

下芯视觉检测工作流程如图2所示, 机器人按照动作程序, 夹持螺旋砂芯的芯头将砂芯装入型腔底座, 然后机器人夹组件上升离开^[3]。同时触发视觉系统启动, 对装入模腔的砂芯进行位置和形态检测, 并与视觉控制软件设定好的砂芯标准位置模板形态数据比对验证, 如检测发现砂芯位置或形态不合格, 则亮灯报警并中断低压铸

造流程,需要检查砂芯是否损坏或重新放置砂芯再检测。如检测螺旋砂芯放置位置准确并形态完好,则反馈通过结果至系统,再启动合模动作,按照正常低压铸造工序进行升液充型等,如此循环形成连续工作流程。

2 图像处理技术应用过程及分析

低压铸造机器人下芯精度检测时所使用的图片来源于彩色相机的拍摄,其拍摄环境背景是低压铸造的生产现场,生产环境下拍摄光线不稳定,不同材质物体图像边缘浓度的干扰情况,加之光学系统或成像传感器本身特性不均匀,经常会造成同样的拍摄对象成像灰度不同^[4]。因此如果直接使用相机的源图片作为检测判断依据,可能会存在误判和检测结果失常的现象。在连续生产过程中,不可能通过多个图像进行逐步分析,必须快速鉴定出产品合格与否。Matlab交互式环境集成软件扩展性非常强大,可有效改善图像的视觉效果及提高图像成分的清晰度。使用Matlab图像处理的图像二值化、图像过滤、图像增强、图像锐化和图像分割等程序,可快速区分树脂砂芯与模具、背景之间灰度的不同并进行几何形状检测。

2.1 砂芯彩色图像二值化

台达视觉控制软件的测量前处理如下。首先对图像进行加工过滤,消除背景并抽取指定区域内的像素,将彩色图像转换为突出特定颜色的黑白图像的二值化图像。如图3所示,把相机读取的256度灰度图像分为白和黑两色,选定螺旋砂芯的主要色彩并通过色相、饱和度和亮度定义该色彩范围的上、下限值,画面上任何图素满足该色彩范围皆会变成白色图素,不满足则变为黑色。以便快速搜索和检测测量重点对象砂芯的颜色^[5]。如图3中螺旋砂芯为树脂射芯制成,因此只抽取选定的颜色,通过颜色、饱和度和亮度来进行指定。将树脂砂芯的浅褐色作为重点标注颜色,使图像变成只具有两个灰度级的图像二值化,使后续的计算量大量减少,但灰度图像仍能准确反映图像中螺旋砂芯等几何物体的色度和亮度等级分布数据情况^[6-7]。

2.2 运用 Matlab 进行图像增强

在低压铸造中运用台达视觉控制软件的图像增强、图像分割和特征比对判断等技术,分析生产环境下不同材质物体的图像边缘浓度干扰情况,其中图像增强是对图像进行“实时浓淡补正”的滤波处理。即针对螺旋砂芯曲面、模具型腔以及低压铸造背景的不同图像边缘浓度进行区分,消除树脂砂芯和型腔的

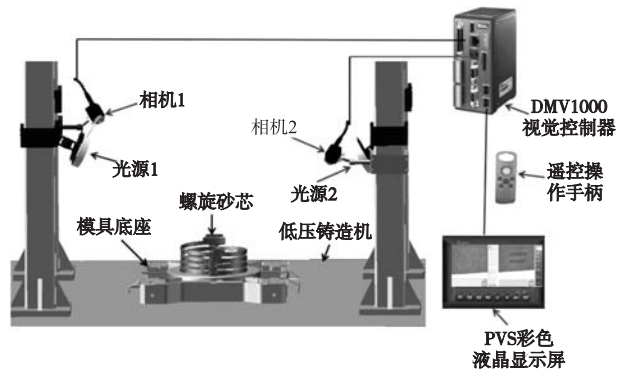


图1 低压铸造机器人下芯视觉检测方案及组件

Fig. 1 Low-pressure casting robot core setting visual inspection program and components

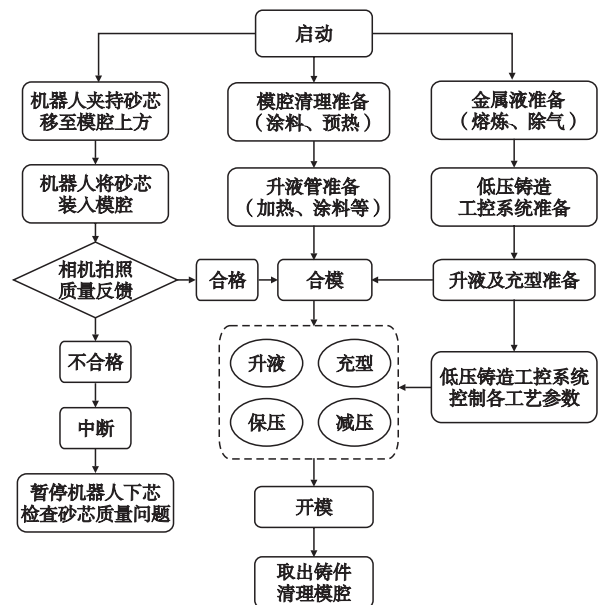


图2 低压铸造机器人下芯视觉控制工作流程

Fig. 2 Low-pressure casting robot core setting visual control workflow

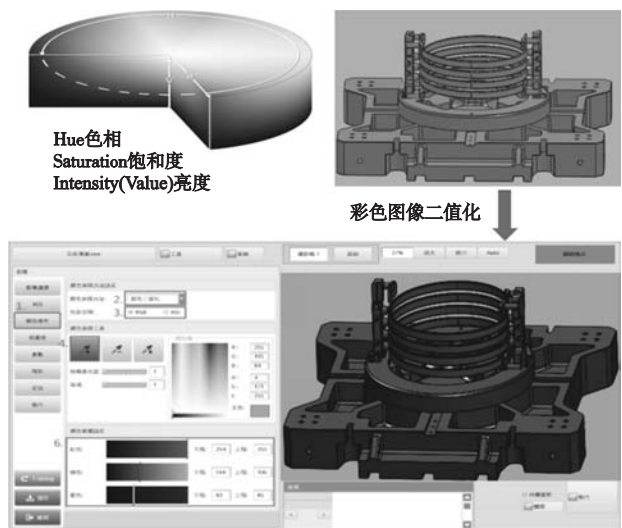


图3 抽取选定的颜色实现图像二值化

Fig. 3 Extract selected colors to realize image binarization

光线反射和反光的影响,将捕获的图像与模板进行比较,从而可以检测出边缘位置的微小变化^[8]。对于连续生产的低压铸造下芯检测,采用对比度增强的方法进行处理,对比度增强是按一定的规则修改输入图像每一个像素的灰度,从而改变图像灰度的动态范围。降低较亮或较暗区域的对比度来增强灰度级处于中间范围的对比度,其中使用Matlab均衡化灰度直方图程序如下:

```
%imadjust//函数
I=imread('D:\image\rice.bmp'); //读取砂芯放置原图像
subplot(2,2,1); //第二行第二列第一个子图
imshow(I); //显示砂芯放置图像
title('原图');
subplot(2,2,2); //第二行第二列第二个子图
imhist(I); //绘制砂芯图像的灰度直方图
title('原图的灰度直方图');
subplot(2,2,3); //第二行第二列第三个子图
J=imadjust(I,[0.3 0.7],[ ]); //对砂芯放置原图像进行灰度变换
imshow(J); //显示图像
title('原图直方图均衡化');
subplot(2,2,4); //第二行第二列第四个子图
imhist(J); //绘制图像的灰度直方图
title('均衡后的灰度直方图')
```

其中,subplot(a,b,c)是用来显示图像位置布局的,b代表行,a代表列,c表示连续的子图数,例如subplot(2,2,3)表示第二行第二列,此图像是其中第3个子图。台达视觉控制软件经过上面针对各子图的程序处理运行,螺旋砂芯图像进行直方图均衡化对比度扩展的结果如图4所示。经过对比度扩展后能够更加清晰地看到更多的细节^[9]。

2.3 运用 Matlab 进行图像锐化

台达视觉控制软件经过图像增强和重点颜色标定,使螺旋砂芯、模具和空白背景之间具有了不同的灰度,但这种灰度区别常常还不足以使检测软件快速准确区分螺旋砂芯边缘几何形状的细微变化,因此有必要在图像增强的基础上再使用Matlab图像锐化处理进行边缘检测^[10]。图像锐化是补偿图像的轮廓,增强图像的边缘及灰度跳变的部分。使图像边缘变得更清晰,锐化的主要目的是突出图像的细节,使螺旋砂芯、模具和空白背景边缘处的灰度反差增强,使得砂芯几何线性目标要素的特征得以突出,再运用微分运算突出图像细节使图像变得更为清晰,从而检测出砂芯边缘位置上的微小变化。运用Matlab进行砂芯几何

图像锐化过程中需要用到Roberts梯度算子,Roberts梯度算子将砂芯几何图像的模板矩阵分为水平和垂直方向,即为:

$$d_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$d_y = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Roberts梯度算子在水平方向和垂直方向的计算公式为:

$$d_x(i, j) = f(i+1, j+1) - f(i, j) \quad (3)$$

$$d_y(i, j) = f(i, j+1) - f(i+1, j) \quad (4)$$

台达视觉控制软件运用Matlab中的循环指令for i=1:m-2 和for j=1:n-2分别对砂芯几何图像行、列数据进行循环处理,Roberts梯度算子像素的最终计算公式如下:

$$S = \sqrt{d_x(i, j)^2 + d_y(i, j)^2} \quad (5)$$

通过上述算法实现砂芯几何图像的锐化处理之后,则可以进行螺旋砂芯机器人下芯的检测判断。

3 图像阈值分割和检测几何要素设置

利用边缘检查的尺寸检查是图像传感器的最新应用趋势,图像传感器可以将检查对象在平面上表现出来,通过边缘检测测算位置、宽度、角度等快速确定被检测对象的几何特征。这其中灰度阈值分割法是一种通过边缘检测确定检测对象几何形状的重要途径,设定灰度阈值进行图像分割和边缘检测,将螺旋砂芯与模具、空白背景之间的几何特征边缘浓度进行级别标定,实现检测对象的几何特征快速稳定提取。并作为判断模板储存注册,作为生产时快速检测砂芯形状的判断标准,从而实现连续快速的检测。

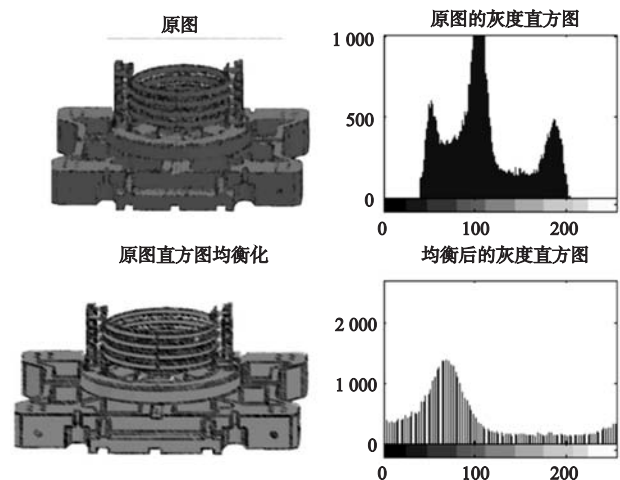


图4 对螺旋砂芯图像进行直方图均衡化对比度扩展的结果
Fig. 4 Result of histogram equalization and contrast expansion on the spiral sand core image

3.1 灰度阈值分割方法应用

灰度阈值分割法是一种用于图像检测区分最常用的并行区域技术，阈值分割方法实际上是输入图像 f 到输出图像 g 的如下变换：

$$g(i, j) = \begin{cases} 1 & f(i, j) \geq T \\ 0 & f(i, j) < T \end{cases} \quad (6)$$

式中： T 为阈值，对于螺旋砂芯的图像元素 $g(i, j) = 1$ ，对于空白背景或者模具的图像元素 $g(i, j) = 0$ 。在0到1之间设置一个是否为砂芯区域的判断标准阈值，通过标准阈值来区分砂芯几何要素的区域范围，检测砂芯位置准确度。通过阈值分辨出哪些是砂芯区域、模具区域和空白背景区域，阈值分割算法的关键是确定阈值，如果能确定一个合适的阈值就可准确地将图像分割开来。实际生产中需根据现场低压铸造速度、螺旋水道内部形状成形精度要求具体调整阈值。阈值确定后，将螺旋砂芯几何模板的阈值与像素点的灰度值逐个进行比较，再根据阈值判断的结果进行判断^[11]。对于螺旋砂芯的图像，其灰度图像中画面内容为砂芯、模具和空白背景三种灰度元素，比较简单且三种图像元素的灰度分布比较有规律，空白背景和螺旋砂芯在图像的灰度直方图上各自形成一个峰值，两个峰值之间有一个波谷，也可以此判断标准灰度阈值，将砂芯和模具、砂芯和空白背景灯等区域分离，再进行直方图阈值分割。

3.2 视觉检测几何要素设置及判断

砂芯几何要素示意图如图5所示。根据螺旋砂芯的几何结构形态，选择砂芯的外圆周半径、螺距以及砂芯放置后的总高度作为视觉检测的几何要素，这3项几何数据基本概括了螺旋砂芯的整体形状和细节结构。选定注册图像后即可进行判断公差设定，可以根据检测的需要灵活设定若干检测几何数据。判断公差即砂

芯检测尺寸可能发生偏差的上、下限值^[12-13]。逐个输入砂芯的外圆周半径、螺距以及砂芯放置后的总高度尺寸公差并注册保存，作为砂芯是否完好及放置是否准确的比对判断条件。

图5中， R 为螺旋砂芯外圆周。如果砂芯圆周方向发生损坏时， R 的检测值会与注册标准值有差别，当测量数值超出上、下限时，则判断为砂芯损坏或位置摆放不准确^[14]。 h_1 、 h_2 、 h_3 为螺旋砂芯螺距，正常情况下螺旋砂芯螺距应该是保持均匀不变的，即注册模板时 h_1 、 h_2 、 h_3 均为40 mm，如出现 h_1 、 h_2 、 h_3 之中有数值超差时，则说明砂芯可能已经部分损坏。当砂芯总高度 H 值出现超差时，则说明可能由于模具底部杂物没有清理干净，造成砂芯底部被垫高，放置后高度不准确。只要上述任何一项检测数值超差，视觉系统就会向PLC控制系统反馈信号并亮灯报警，则机器人下芯动作停止^[15]。只有按下复位键解除报警后才可继续后续动作。在检测过程中，如果多次出现砂芯某一位置尺寸或形状缺陷时，则应回溯砂芯制备或装运过程中有可能发生的损坏因素予以改正。

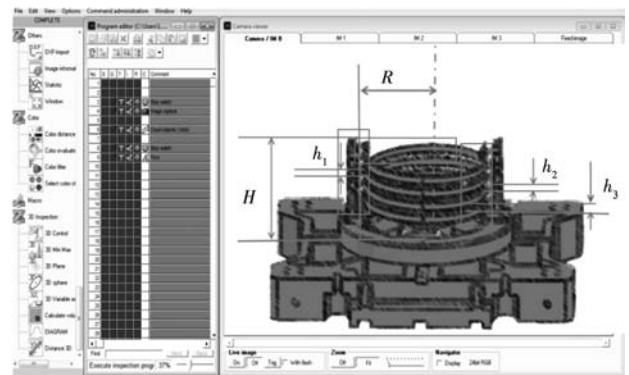


图5 视觉检测几何要素设置

Fig. 5 Visual inspection geometric element settings

4 结束语

通过运用台达视觉控制软件系统，解决了连续低压铸造生产时，高温工作环境无法使用人工测量的方法检查砂芯是否准确装入模腔的问题，实现检测对象的几何特征稳定提取，掌握视觉控制软件的图像数据处理和参数设定应用技术。需要指出的是，不同批次的砂芯的性能不同，放置入模腔内的情况不同，因此图像处理软件参数（如标准灰度阈值等）设定就需要根据检测具体

情况来确定。当前的制造业智能化技术改造过程中，许多企业都在对传统制造技术进行智能化改造，如铸造、冲压和焊接生产的机器人自动化应用和智能控制等。在低压铸造金属液充型前发现砂芯质量问题，能有效避免铸件内部砂芯破损造成冷却水道不通的质量问题，以减少高能耗的低压铸造生产过程重复浪费，使低压铸造生产的精益化、智能化水平大幅提升。

参考文献:

- [1] 邵长利. 基于MATLAB图像处理的铸造表面粗糙度测量方法 [J]. 铸造, 2019 (4): 372-377.
- [2] 洪天平. 基于matlab的彩色石材图像边缘检测算法研究[J].信息通信, 2020 (3): 63-64.
- [3] 韩伟, 陈宇姗, 刘建光, 等. 水冷机壳低压铸造机器人下芯设计与编程[J]. 铸造, 2019 (4): 402-407.
- [4] 陈立挺, 聂晓根. 基于双目视觉的机械手识别、定位、抓取系统研究 [J]. 机电工程, 2019 (8): 862-866, 872.
- [5] 王宝珠, 李芳影, 刘翠响, 等. 基于图像处理技术的多晶体材料金相图像分割算法研究 [J]. 铸造, 2015 (11): 1078-1081.
- [6] 楚智媛, 吕闯. 基于MATLAB下空域滤波算法的图像增强 [J]. 中国科技信息, 2020 (19): 91-92.
- [7] 罗曼婷, 游腾飞, 张秋坤, 等. 基于Matlab/ActiveX控件的光学相干层析成像系统开发 [J]. 机电工程, 2015, 32 (4): 443-446, 452.
- [8] 张峰. 视觉系统在机器人下芯系统中的应用 [J]. 现代制造, 2013 (16): 42-43.
- [9] 刘建春, 江骏杰, 邹朝圣. 基于机器视觉的立铣刀磨损检测方法研究 [J]. 制造技术与机床, 2020 (1): 136-140.
- [10] 魏炽旭, 何汉琳. 基于图像处理技术的PCB板缺陷检测系统设计 [J]. 电子制作, 2020 (21): 25-26, 62.
- [11] 雷吉平, 颜树华, 沈少伟. 螺纹参数CCD视觉检测系统的研究 [J]. 制造技术与机床, 2010 (4): 96-99.
- [12] 吴兰兰, 陈硕, 黄祥斌, 等. PET瓶瓶盖缺陷视觉检测算法研究 [J]. 机电工程, 2018 (5): 533-539.
- [13] 李大勇, 王文卓, 石德全. 基于数字图像处理的铸造表面粗糙度自动检测 [J]. 铸造, 2007 (9): 963-966.
- [14] 王宁, 段振云, 赵文辉, 等. 视觉检测中齿轮外轮廓分段方法研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016 (4): 117-120.
- [15] 陈向伟, 王海月. 基于计算机视觉的轴套零件尺寸测量 [J]. 制造技术与机床, 2014 (10): 85-88.

Application of Image Processing to Low-Pressure Casting Robot Core Setting Testing

HAN Wei, DUAN Hai-feng, YAN Jian, REN Chuang-xin, LIU Chu-sheng

(Guangzhou College of South China University of Technology, School of Mechanical Engineering, Guangzhou 510800, Guangdong, China)

Abstract:

In the process of low pressure casting production of the aluminum alloy water-cooled casings for electric vehicles, when a spiral sand core is set into the mold cavity at high temperature by a robot, it is difficult to determine whether the sand core is damaged and the positioning is accurate. This work explores how to improve the clarity of image components by using Matlab image enhancement, image sharpening and image segmentation, so that the image becomes conducive to visual control software processing. The gray threshold segmentation method can determine the edge geometry of the spiral sand core, and can register it as a template for rapid detection and judgment. Therefore, the spiral sand core that is not accurately placed or partially damaged can be identified in the shortest time, which achieves fine quality control before the casting is formed.

Key words:

spiral sand core; image enhancement; image sharpening; threshold segmentation; geometric elements