

doi: 10.7690/bgzdh.2021.09.004

推进剂加工生产中的视觉检测应用

龚运环, 张雷, 钟金龙, 王新科, 李天添

(中国兵器装备集团自动化研究所有限公司智能制造事业部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为解决某推进剂产品在自动化批量生产中的质量控制问题, 减少人工测量导致的检测数据偏差, 提高产品检测的重复精度, 提升检测效率, 研制出一套针对工件进行在线检测的视觉测量设备。根据各种推进剂产品的尺寸特征, 建立一套视觉测量专用数据库, 配合定制研发的软件算法, 对检测数据进行分析和处理。结果表明, 该设备能对不合格品进行快速筛查, 追溯产品问题和指导生产工艺优化分析, 降低人员工作强度。

关键词: 推进剂; 视觉检测; 尺寸测量; 图像校正

中图分类号: TJ410 **文献标志码:** A

Application of Visual Inspection in Propellant Processing and Production

Gong Yunhuan, Zhang Lei, Zhong Jinlong, Wang Xinke, Li Tiantian

*(Department of Intelligent Manufacture, Automation Research Institute Co., Ltd.
of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China)*

Abstract: In order to solve the quality control problem of certain type propellant product in automatic batch production, reduce the detection data deviation caused by manual measurement, improve the repeatability of product detection, and improve the detection efficiency, a set of visual measurement equipment for on-line detection of work piece is developed. According to the dimension characteristics of various propellant products, a set of special database for visual measurement is established, and the test data is analyzed and processed with customized software algorithm. The results show that the equipment can quickly screen the unqualified products, trace the product problems and guide the production process optimization analysis, and reduce the personnel work intensity.

Keywords: propellant; visual inspection; dimension measurement; image correction

0 引言

视觉使人类得以感知和理解周边的世界。计算机视觉的目的是通过电子化感知和图像理解复制人类视觉的效果^[1]。近年来, 视觉检测技术发展迅猛, 在工业自动化领域的应用也越来越广泛、成熟。在企业进行大批量、同类型的产品加工时, 产品质量检测是很重要的一道工艺流程。传统人工检测的方法费时且效果不好, 人员不同检测结果会出现较大偏差。采用机器视觉检测方法可以大大减小人员问题带来的不确定因素, 提高检验效率和一致性。

推进剂能有规律地燃烧且释放出能量, 产生气体, 可用来发射枪炮弹丸、火箭弹和导弹等。推进剂的尺寸检测及其外观机器视觉检选是智能化设计中的关键。推进剂检选主要包括药形尺寸检测、药管外观质量识别及剔除^[2-3]。笔者对推进剂加工生产中的视觉检测应用进行研究。

1 主要检测内容

某类推进剂生产中, 需要对浇注成型后的药柱

进行机械加工。加工结束进入下一道工序前, 还需对推进剂工件的关键尺寸进行检验, 以便剔除不合格品, 保证产品质量。

推进剂药柱经机械加工和人工清理后, 需测量“外径”“高度”“内径”“缝宽”“夹角”等参数, 并根据检验规程设定的检测阈值判定其是否合格。

推进剂药柱在加工完成后的尺寸检测过程, 现在仍由专职检验人员使用游标卡尺对其进行手动测量、记录。这种检测方式存在 2 个问题: 1) 由于推进剂产品自身具有一定的弹性, 人工测量时手上力度大小的不同会对尺寸检测结果造成变化, 稳定性相对较差; 2) 从检测效率和劳动强度来说, 遇到大批量产品进行检测时, 重复地进行机械式测量的效率较低、检验人员的劳动负荷大。

针对现阶段生产加工过程中的工艺及检测质量需求, 基于视觉测量方面的技术积累和应用实践, 研制出一套针对此类推进剂产品的视觉检测设备。该设备实现了推进剂工件多部位的尺寸检测、检测数据存储、不合格品快速筛选以及与上层系统的通

收稿日期: 2021-05-07; 修回日期: 2021-06-02

作者简介: 龚运环(1980—), 男, 四川人, 高级工程师, 从事自动化加工、检测技术研究。E-mail: 18978983@qq.com。

信等功能。

2 设备组成

根据检测需求,该设备需要检测的尺寸点较多,设计相对复杂。在设计过程中对此进行系统性分析,分别从光路设计、机械结构、电气控制和软件算法等多方面进行考虑,以确保实现设备所需的功能、达到检测精度。

如图 1 所示,设备主要由机构主体、垂直相机、水平相机、垂直光源、水平光源、旋转工作台和控制系统等部分组成。其中垂直相机选用彩色相机,水平光源使用远心光源。

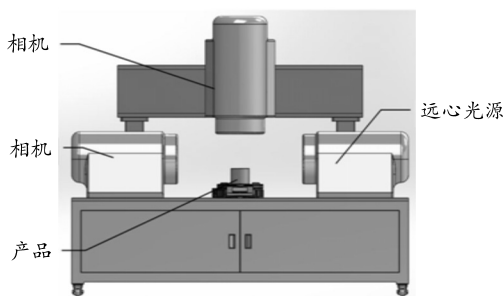


图 1 设备结构组成

机构主体采用矩形钢管焊接,作为该设备主框

架,并在焊接完成后做失效处理,目的是在进行装配时不会因机构主体的变形而影响测量精度。上表面检测成像系统设计为龙门结构框架,以保证检测系统的结构稳定性,不受外部振动的影响。设备现场安装到位后进行了设备安装的水平调整、成像系统机械调整、摄像机的标定等工作,确保成像质量。

推进剂产品是具有一定易燃、易爆性能的特殊产品,因此采用非标定制的防护设计,对相机、光源、电源进行防护,杜绝安全隐患,满足使用环境所需要的防爆等级要求。

控制系统选用一台高性能的工控机,检测过程中的图像处理、运算对于 CPU 的性能要求很高。工控机的 CPU 使用 I7 处理器,配备 16 G 内存,配置了专业的图像采集卡。采集卡通过以太网线连接工业相机,直接对拍摄的水平 and 垂直方向的图像进行高速采集及处理,减轻了 CPU 的负担。设备使用的 3 处光源和自动旋转工作台的控制通过一张串口控制卡经由 RS232 串口进行。外部按钮、指示灯的信号交互则由一张数字 I/O 控制卡实现。设备与上层计算机的通讯和数据交互通过工控机的以太网传输。图 2 为设备的控制系统组成。

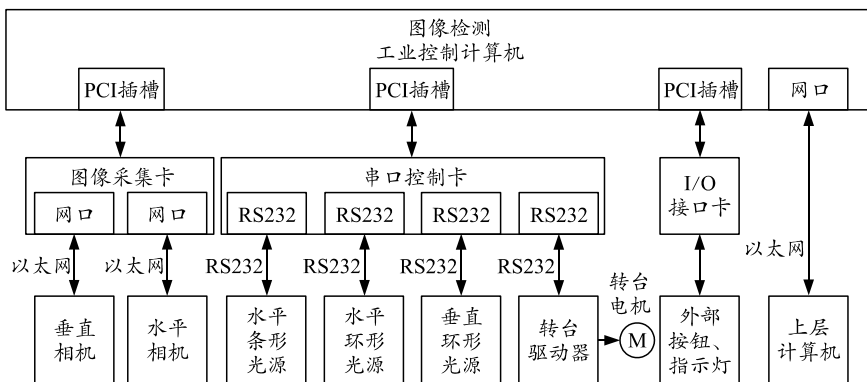


图 2 设备控制系统组成

3 系统检测原理

设备采用双远心光学成像系统,设计成立卧式十字成像仪,对推进剂工件的侧面及其上表面进行拍照。为减小图片拍摄角度不同造成的测量误差,通过旋转工作台的多次旋转,实现对同一工件的多角度拍摄。

使用“顶部相机+顶部光源”进行内径、缝宽、夹角的尺寸检测;使用“侧部相机+侧部光源”进行外径、高度的尺寸检测。

自动旋转工作台使工件在进行测量时,固定旋转一定角度后拍照一次。该方式实现了多次测量同一工件不同截面方向的数值,并针对工件放置后工

件底部微微倾斜情况进行修正,利用工件侧部的直线角度,修正高度与圆柱直径测量的方向。

双远心镜头具有畸变小、放大倍率恒定及大景深等优点,应用非常广泛^[4]。使用远心镜头进行测量,可以使主光线与光轴平行,避免普通光学镜头存在的成像远近造成视觉误差。基于以上原因和实际的功能需求,本设备选用远心光学系统对被测物成像。

光源是此视觉检测设备光学测量系统的关键部件。为了得到准确的测量结果,需要选用合适的照明光源突出被测产品特征、有效提高最终的测量精度。笔者对相机光源部分的结构设计投入大量的精

力,充分考虑了该工件的侧面和正面特点,根据其上表面和侧面不同的粗糙度和反光特性进行多次实验验证,通过成像参数对光源亮度进行闭环控制,并对光源的安装位置和角度进行仿真,充分消除杂散光对图片轮廓检测精度的影响,保证待测物体投影的真实性。

为保障图片拍摄时图像轮廓边缘的锐利度,在水平镜头的对面使用远心平行 LED 光源,实现背面投影方向的照明光束与主光线平行。

正面投射照明时,为突出产品表面的起伏以及不同材质及光泽的反光特性,主光源选用多个角度组合的环形 LED 光源,并且在光源的供电控制上实现程控分段控制,各段的亮度可通过软件设置进行单独调节。

获取到拍摄的图片后,如图 3 所示,通过对工件的边缘进行提取和分析,对轮廓进行拟合,计算出工件的高度、内径和外径。如图 4 所示,针对工件缝隙边缘的直线进行提取,计算出线与线之间的距离作为缝宽。以缝隙边缘的直线作为基础,求取两直线的中心线,从而计算 3 个缝中心线之间的夹角,作为夹角测量值。

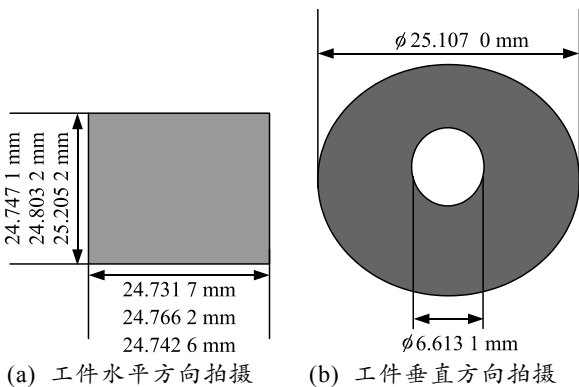


图 3 直径、高度、内径、外径测量

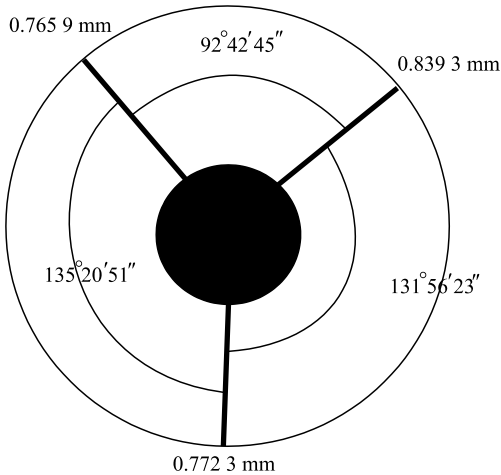


图 4 夹角的计算

4 专用测量软件

根据推进剂的特征,研制出一套专用的图像检测系统软件,并通过实际验证、改进,实现对其精确、稳定的测量。测量软件主要分为图 5 中所示的几个模块,具体功能描述如下:

图像采集模块:实现各种状态下的图像采集,如水平、垂直相机拍照时,光源开启、关闭的协调配合,旋转机构拍照的时间配合度等。

图像预处理模块:对采集到的照片进行特征提取、分割和匹配前所进行的处理。

图像算法模块:是该软件的核心,直接决定测量精度和速度。

软件显示模块:负责软件界面的操作、显示,各个功能窗口的分布等。

参数配置模块:相机的功能参数,如增益、曝光时间设定;各个尺寸阈值判定条件,测量工件类型设定等。

数据存储模块:负责拍摄图片、日志的存储,工件测量数据的存储、管理、导出功能。

通信模块:负责与上位控制系统的通讯交互,如接受上位系统下发的工件类型、测量开始、停止指令,反馈给上位系统测量结果。

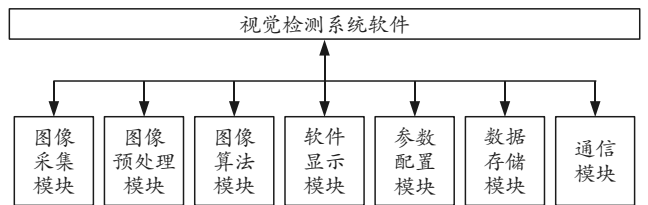


图 5 设备软件组成

软件主界面如图 6 所示。

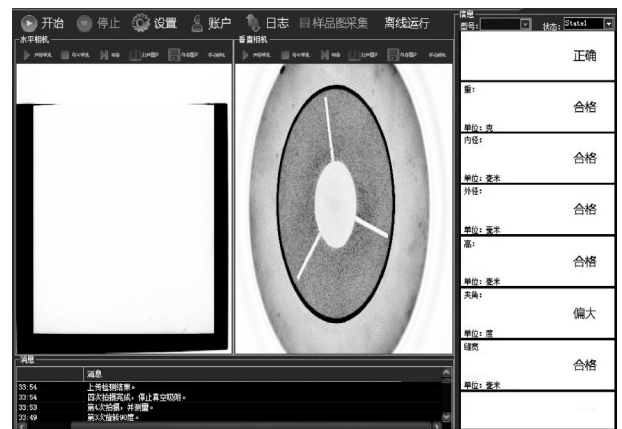


图 6 软件主界面

5 系统的视觉检测算法

研制过程中,设备采集到大量的推进剂产品图

片，同时人工对该产品也进行手动测量并整理出对应的检测数据值。两者之间经过大量的数据对比、流程优化，形成了高效可靠的测量算法，建立了一套专用的工艺数据库。

5.1 图像轮廓匹配算法

在对推进剂加工后的工件进行尺寸测量时，对于拍摄的图像轮廓特征点的提取非常重要，直接决定检测数据的准确性。工件轮廓特征点的提取首先需要将已拍摄的图像进行预处理，主要是做图像分割、图像特征的提取，再选择图片中的特征单元，根据特征单元结合搜索策略，利用匹配算法进行匹配。对于垂直相机而言，由于是彩色相机，其拍摄的图片最重要的特征便是颜色特征，工件的“内径”“缝宽”和“夹角”的测量主要都是通过颜色特征提取后的一系列处理和计算实现。图像轮廓匹配过程如图 7 所示。

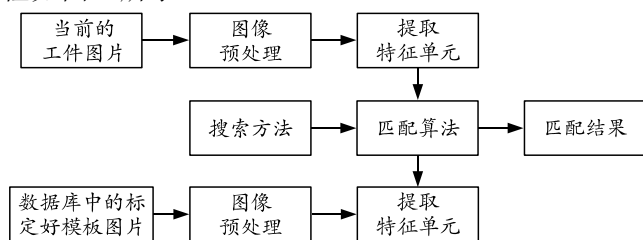


图 7 图像轮廓匹配过程

水平相机图像的轮廓匹配主要需要考虑推进剂图像的灰度值和像素光学特征之间的信息，以及经过处理后图像的特征数据。

在实际场景应用中，噪声干扰和复杂光线环境影响描述目标特征的有效性和准确性，最终影响目标的识别，因此特别考虑了推进剂图像轮廓识别的稳定性、独特性。利用测量目标边界上的点获得特征描述方式，能够简便、直观地完成对特征目标的描述，进而实现轮廓匹配。该算法在研究过程中通过采集到的大量实际图片信息，对匹配参数和流程进行了大量优化，将误判率降低，完成对高低错位、工件旋转及镜像图像的精确识别及匹配。

5.2 亚像素精度测量算法

就相机硬件层面而言，其拍摄图片的成像面上每一个像素点紧密连在一起，没有任何间隙；但在软件上，可以通过计算使得像素与像素点间有更小的东西存在，被称为“亚像素”。

通过亚像素算法对图像插值提高检测精度，首先需要对相机的成像系统进行几何标定，从而避免图像失真造成的影响。求解摄像头内参、畸变系数

和外参的过程称为摄像头标定^[5]。

拍摄的推进剂图像边缘的亚像素位置存在于由明到暗或由暗到明的一个渐变过程过渡过程中，是亮度变化斜率最大的位置。实际计算中，采用插值及曲线逼近的方法获得边缘点的亚像素位置，计算时间较短，抗噪声能力和定位精度都较高，能有效提取亚像素边缘，实现精确测量。

根据推进剂产品自身特点，总结出需要测量尺寸的有关特征。该设备的亚像素精度几何测量算法，使用了高阶插值、数值拟合等方法，提高了检测数据的测量精确度。

5.3 并行加速图像处理算法

此设备需要实际用于生产，在进行检测时要讲究效率，并且工件需要检测的主要尺寸参数有 5 个，对检测的速度要求较高。

图像的边缘检测算法，需要先采用高斯滤波去除图像采集时所产生的随机噪声，然后使用非极大值的抑制方法使标识的边缘和图像的真实边缘尽可能接近，再使用双阈值边缘假设算法对图像的边缘阈值进行搜索匹配，这些过程都会大量占用 CPU 使用率，影响检测时间。

GPU 编程以高速的执行速度、良好的可编程性、较高的功耗比成为并行编程的一个热门工具^[6]。检测过程中利用 CPU 进行复杂逻辑和事务处理等串行计算，利用 GPU 的多线程并行执行能力完成大规模并行计算，分别发挥出 2 类处理器的计算特点，在保证测量精度的前提下，提高系统运算速度。

6 实际效果

经过长时间的测试验证以及与人工手动测量数据对比可知，设备的重复测量精度满足生产使用要求。设备实际拍摄的工件图片、设备现场图片分别如图 8、9 所示。该设备能提高此类推进剂产品尺寸测量的自动化程度，减少手工测量时不同检验人员手感不同带来的测量误差，提升检测结果的一致性，降低人员的工作强度，提升检测效率。

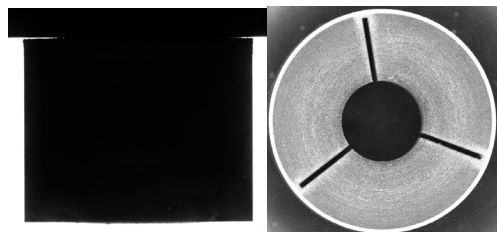


图 8 实际拍摄的水平、顶部图片