

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2021.04.044

# 基于机器视觉的细长产品表面缺陷检测设备研究

彭雨<sup>a,b</sup>,谈莉斌<sup>a,b</sup>,余晓流<sup>a,b</sup>(安徽工业大学 a. 特种重载机器人安徽省重点实验室;  
b. 机械工程学院,安徽 马鞍山 243002)

**摘要:**为提高对细长产品表面缺陷的检测效率,运用机器视觉技术对细长产品外部轮廓尺寸及表面缺陷状况进行检测。运用机器视觉技术,分析图像传输过程中噪声产生原因及降噪方法;采用canny算法和Simple Blob Dectorte特征点检测方法,提取零件轮廓和色斑轮廓;编写基于机器视觉的表面缺陷检测程序,并通过实验验证了该方法的可行性。采用系统法对表面缺陷检测设备进行整体分析,设计出与检测程序相配套的机械设备。

**关键词:**细长产品;机器视觉;缺陷检测;设备

**中图分类号:** TB472; TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2021)04-0166-04

## Research on Surface Defect Detection Equipment of Slender Products Based on Machine Vision

PENG Yu<sup>a,b</sup>, TAN Libin<sup>a,b</sup>, YU Xiaoliu<sup>a,b</sup>(a. Anhui Province Key Laboratory of Special Heavy Load Robot; b. School of Mechanical Engineering,  
Anhui University of Technology, Ma' anshan 243002, China)

**Abstract:** In order to improve the detection efficiency of the surface defects of slender products, machine vision technology was used to detect the external contour size and surface defects of slender products. The machine vision technology was studied to analyze the causes of the noise in the image transmission process and the methods of reducing noise. The canny algorithm and Simple Blob Dectorte feature point detection method were used to extract the contour of parts and color spots. A surface defect detection program based on machine vision was written, and the feasibility of the method was verified by experiments. The system method is used for the overall analysis of the surface defect detection equipment, and the mechanical equipment matching with the detection program is designed.

**Keywords:** slender products; machine vision; defect detection; equipment

## 0 引言

产品加工完成后,需对其表面色斑、划痕、尺寸等缺陷进行检测与甄别。传统的人工肉眼检测方法存在工作强度高、易导致误检、检测效率低等问题<sup>[1]</sup>。因此,对机器实现表面缺陷检测方法的需求日趋高涨<sup>[2]</sup>。

目前表面缺陷检测技术很多,如涡流检测技术<sup>[3]</sup>、磁粉检测技术<sup>[4]</sup>、渗透检测技术<sup>[5]</sup>、X射线检测技术<sup>[6]</sup>、激光扫描检测技术<sup>[7]</sup>、超声波检测技术<sup>[8]</sup>、机器视觉检测技术<sup>[9]</sup>等。涡流检测技术检测速度快、灵敏度高,但不能直观地显示缺陷的形状和大小,仅适用于高温环境下导电材料的检测<sup>[10]</sup>。磁粉检测技术能直观地显示缺陷的形状、位置及尺寸,但检测结果受产品形状影响,难以实现自动化,只适用于铁磁类型材料的检测<sup>[11]</sup>。渗透检测技术不受材料种类和外形轮廓的影响,对疏松及针孔类的缺陷灵敏度高,检测结果受操作人员影响较大,难以实现自动化,适用于非多孔材料的检测<sup>[12]</sup>。以上检测方法都是针对某一类材料的产品进行检测,并不能适用于其他材料的缺陷

检测。X射线检测技术不受材料种类、外形和结构的影响,检测效率高,但是对操作人员有一定的辐射副作用<sup>[13]</sup>。超声波检测技术不受材料种类影响、灵敏度高、操作安全,但有无法检测色斑等缺陷,可用于对形状简单的产品进行自动化检测<sup>[14]</sup>。激光扫描检测技术不受材料种类影响、检测速度快、精度高,但有无法检测色斑等缺陷,适用于对产品尺寸、裂痕等缺陷的自动化检测<sup>[15]</sup>。机器视觉检测技术不受材料种类影响、适用范围广、精度高、检测效率高,但对光线要求高,可用于对产品表面色斑、划痕、尺寸等缺陷进行自动化检测<sup>[16]</sup>。由于机器视觉检测技术的安全、高效,可以对色斑、划痕、尺寸等缺陷进行检测,使其在表面缺陷检测的应用上得到推广。

因此,研发者们针对产品表面缺陷问题进行了基于机器视觉检测技术的应用。如利用机器视觉对太阳能电池片的表面缺陷检测<sup>[17]</sup>,利用机器视觉对筒子纱进行在线缺陷检测<sup>[18]</sup>,利用机器视觉对苹果外观的缺陷进行在线检测<sup>[19]</sup>,利用机器视觉对液晶显示器的缺陷进行自动检测<sup>[20]</sup>等。

以上应用都是利用机器视觉针对一个特殊产品进行

**基金项目:**安徽省重点实验室自主课题资助项目(TZJQR002-2020)

**第一作者简介:**彭雨(1995—),男,安徽芜湖人,硕士研究生,研究方向为机械设计制造及其自动化。

缺陷检测,而针对细长产品进行表面缺陷自动检测的应用尚未见公开文献报道。因此,本文提出一种基于机器视觉的细长产品表面缺陷检测方法,并在此基础上设计出相应的自动化设备。

## 1 基于机器视觉的表面缺陷检测方法研究

机器视觉检测主要由高速相机对处于充足光照下的产品进行原始图像采集,运用图像处理技术对原始图像进行预处理,最后经过图像检测程序对产品是否合格进行判断。

相机在对原始图像的获取和传输时会因为一些原因产生噪声,因此在进行图像处理前需对原始图像进行灰度化、降噪等预处理。常见的噪声主要有高斯噪声、泊松噪声<sup>[21]</sup>、乘性噪声及椒盐噪声等。其中,高斯噪声在表面缺陷检测中对图像检测的影响最大,所以主要针对高斯噪声降噪。从数学角度上观察高斯噪声,其概率密度函数服从高斯分布,其概率密度公式如式(1)所示。

$$P(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(z-u)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

式中: $z$ 为噪声电平; $u$ 为噪声电平平均值; $\sigma$ 为噪声电平标准差。

高斯噪声主要因相机拍摄时亮度不够、电路元器件的相互影响及相机长时间工作发热等形成。图像受到高斯噪声污染后,图像中任意一个像素点均受到程度不完全相同的污染,灰度值因受影响程度不同通常表现不一致,但含有一定的有用信息。

对于去除高斯噪声,均值滤波具有很好的降噪平滑效果<sup>[22]</sup>。均值滤波是一种线性滤波器,处理思路是将某像素邻域内各像素点的灰度平均值来代替该像素原来的灰度值。假设待去噪图像 $g(i,j)$ 大小为 $n \times n$ ,经均值滤波去噪后的图像用下式表示:

$$\bar{g}(i,j) = \frac{1}{M} \sum_{(i,j) \in s} g(i,j) \quad (2)$$

式中: $i,j=0,1,2,\dots,n-1$ ;  $s$ 是像素点 $(i,j)$ 邻域内所有像素点的集合; $M$ 是点集 $s$ 中的总点数。

去噪后图像中的像素点灰度值 $\bar{g}(i,j)$ 均由 $(i,j)$ 邻域内所有像素点的灰度值平均值替代。这种方法通过把噪声污染点的突变灰度值分散到邻域的其他像素点中来使图像平滑。该算法的优点在于效率高,思路简单。

对原始图像预处理完之后需要进行一系列缺陷检测,这里主要检测尺寸和色斑。使用canny边缘检测方法<sup>[23]</sup>对图像提取细长产品的边缘轮廓。

1) 计算像素的梯度值和方向。图像灰度值的梯度采用一阶有限差分方法进行近似处理,得到图像在 $x$ 和 $y$ 方向上的两个偏导数矩阵。其中,canny边缘检测算法中使用的soble算子卷积模板:

$$s_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$s_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$K = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 \\ a_7 & [i,j] & a_3 \\ a_6 & a_5 & a_4 \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中: $s_x$ 为 $x$ 向卷积模板; $s_y$ 为 $y$ 向卷积模板; $K$ 为待处理点的邻域标记矩阵。

具体的计算方法为:

$$\begin{cases} G_x = K[i,j] \times s_x \\ G_y = K[i,j] \times s_y \\ M[i,j] = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \\ \theta[i,j] = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \end{cases} \quad (6)$$

式中: $K[i,j]$ 为图像灰度值; $G_x$ 为 $x$ 方向的梯度幅值; $G_y$ 为 $y$ 方向的梯度幅值; $M[i,j]$ 为该点幅值; $\theta[i,j]$ 为梯度方向。

2) 对梯度幅值进行非极大值抑制。确定像素点 $C$ 的灰度值在其8值邻域内是否为最大。图1中虚线方向为 $C$ 点的梯度方向,进而确定在这条线上分布其局部的最大值。因此,通过判断 $C$ 点灰度与 $G_2$ 、 $G_6$ 两点灰度大小可确定 $C$ 点是否为其邻域内的局部最大灰度点。如果 $C$ 点灰度值小于这两个点的灰度值,则 $C$ 点不是局部极大值,可排除 $C$ 点为边缘。

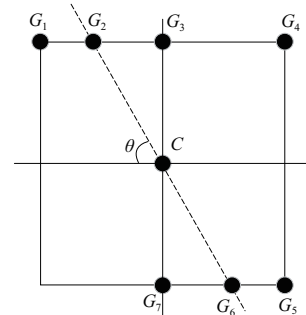


图1 非极大值抑制原理图

完成非极大值抑制后会得到一个二值图像,非边缘的点灰度值均为0,可能为边缘的局部灰度极大值点设置其灰度为128。该检测结果包含了很多由噪声及其他原因造成的假边缘。因此,需要使用双阈值抑制方法减少假边缘。

3) 双阈值抑制。根据实际需要选择两个阈值,在高阈值图像中把边缘连接成轮廓。当到达轮廓的端点时,该算法会在断点的8邻域点中寻找满足低阈值的点,再根据此点收集新的边缘,直到整个图像边缘闭合。

对于色斑的提取是使用OpenCV中Simple Blob Dectorte特征点检测方法。

将以上步骤得到的轮廓周长和面积、斑点数量与因生产要求而设置的预设值进行比较,都在误差范围内,判定合格。具体检测流程见图2。

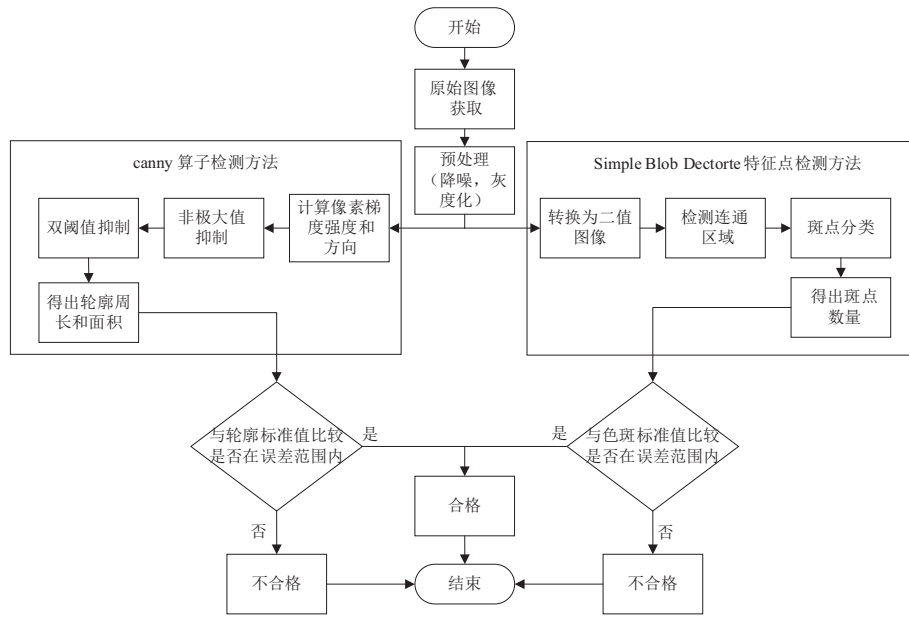


图 2 检测流程图

根据以上检测方法进行实验。首先基于 visual studio 2018 编写检测程序,然后使用大恒水星系列相机对 4 个细长产品(以筷子为例)进行图像获取并将获取的图片传输至计算机,最后经过检测程序对零件轮廓和色斑轮廓进行提取,提取结果如图 3 所示。图 3 表明该检测方法可以有效地提取出筷子的外轮廓及表面色斑轮廓。通过该实验验证了基于机器视觉的表面缺陷检测方法可应用于细长零件的表面缺陷检测上。

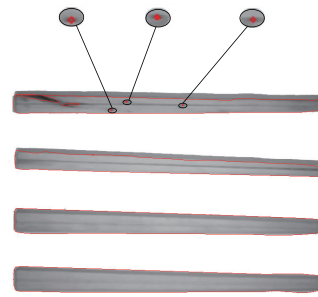


图 3 相机检测图片

## 2 表面缺陷检测设备的整体分析

使用系统法对表面缺陷检测设备系统进行分析。系统法是从系统观点出发,把目标对象看作系统整体加以研究、认识,同时又将复杂的系统分解为不同的因素,并从整体与因素之间的相互联系、相互制约、相互作用的关系中

综合地、精确地探寻整体本质及其运动规律,以达到正确认识和处理问题的一种方法。表面缺陷检测设备的整体构架见图 4。

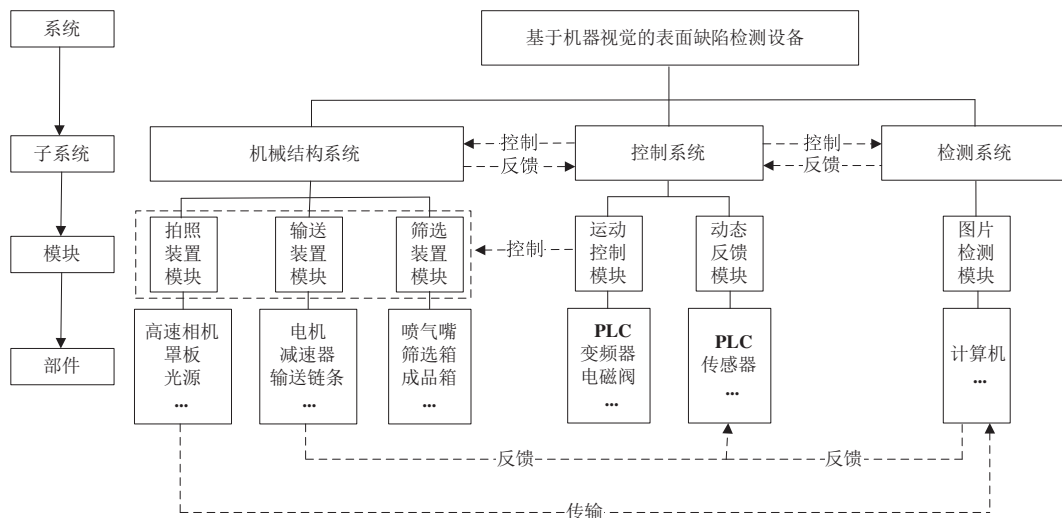


图 4 表面缺陷检测设备的整体构架

控制系统为整个系统的核心,设备启动后,控制系统对机械结构系统发出信号,输送装置模块做出响应,并且通过传感器将输送状况反馈给控制系统。控制系统根据反馈信号控制拍照装置模块工作。拍照装置模块将数据传输给检测系统,检测系统将检测结果反馈给控制系统,控制系统再根据反馈信息控制筛选装置工作。

### 3 表面缺陷检测设备的控制系统设计

根据表面缺陷检测设备的整体分析,针对该设备特点设计一套控制系统。细长产品的输送由变频器控制电机来实现。在输送路径上有检测工位和筛选工位,并安装拍照传感器和记数传感器。由于产品在输送过程中运动速度快,为保证传感器获得数据的时效性,使用光纤传感器作为拍照传感器和记数传感器。

为提高检测效率,在检测工位上使用4个高速相机同时对4个细长产品的上下两个侧面及两个端面进行图像获取。为保证每次检测数量的准确性,使用拍照传感器记录脉冲,每通过一个产品记录一次脉冲,达到指定脉冲数时触发相机拍照并将数据传输给计算机。经过计算机的检测系统分析,若为不合格品则触发记数传感器记录脉冲。

当不合格品通过检测工位,每运动一段距离,记数传感器记录一次脉冲。通过脉冲数判断不合格品是否到达筛选工位。当不合格品到达筛选工位,触发电磁阀工作,使喷气嘴喷出气体,改变不合格品的运动轨迹,从而达到筛选的目的。

所有运动流程全部由PLC进行整体控制,控制方案如图5所示。

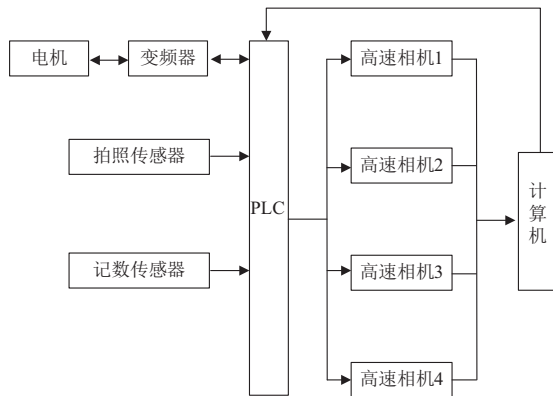


图5 控制方案

### 4 表面缺陷检测设备的机械结构设计

根据表面缺陷检测设备的整体分析确定其机械结构主要分为输送装置、拍照装置及筛选装置三部分。拍照装置位于输送装置的检测工位,筛选装置位于输送装置的筛选工位。输送装置主要由电机、减速器及输送链条等组成,拍照装置主要由罩板、光源及高速相机等组成,筛选装置主要由喷气嘴、筛选箱及成品箱等组成。对机械结构进行三维建模,其模型如图6所示。

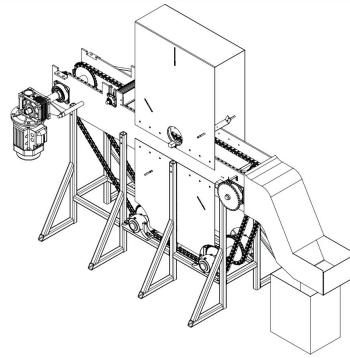


图6 表面缺陷检测设备的机械结构三维模型

### 5 结语

本文介绍了一种基于机器视觉的细长产品表面缺陷检测的方法,并通过实验验证了该方法的可行性。研发了一套与该检测方法相配套的检测设备,实现了细长产品的自动化在线检测。该检测设备与传统肉眼检测相比,检测精度和效率都有明显改善,降低了肉眼检测中误检和漏检的发生率,可代替肉眼检测,节省劳动力。

#### 参考文献:

- [1] 李少波,杨静,王铮,等. 缺陷检测技术的发展与应用研究综述[J]. 自动化学报,2020,46(11): 83-100.
- [2] 周亮,王振环,孙东辰,等. 现代精密测量技术现状及发展[J]. 仪器仪表学报,2017,38(8): 1869-1878.
- [3] GARCÍA-MARTÍN J, GÓMEZ-GIL J, VÁZQUEZ-SÁNCHEZ E. Non-destructive techniques based on eddy current testing[J]. Sensors, 2011, 11(3): 2525-2565.
- [4] KASAI N Y, TAKADA A, FUKUOKA K, et al. Quantitative investigation of a standard test shim for magnetic particle testing[J]. NDT & E International, 2011, 44(5): 421-426.
- [5] 黄展鸿,黄春芳,张鉴炜,等. 声发射技术在纤维增强复合材料损伤检测和破坏过程分析中的应用研究进展[J]. 材料导报,2018,32(7): 1122-1128.
- [6] 郭冠华,熊鸿建. 中国射线检测技术现状及研究进展[J]. 仪器仪表学报,2016,37(8): 1683-1695.
- [7] 吴易洲,苗瑞,朱健华,等. 基于三维激光扫描的窄搭接焊缝特征提取与缺陷识别[J]. 应用激光,2018,38(5): 817-822.
- [8] 胡春亮,吴毅. 超声波检测技术在球墨铸铁生产中的应用[C]//中国机械工程学会铸造分会铸件质量控制及检测技术委员会第十一届学术年会暨天津市第十届铸造学术年会论文集. 天津:2016:95-101.
- [9] SHANMUGAMANI R, SADIQUE M, RAMAMOORTHY B. Detection and classification of surface defects of gun barrels using computer vision and machine learning[J]. Measurement, 2015, 60: 222-230.
- [10] XIE S J, CHEN Z M, TAKAGI T, et al. Efficient numerical solver for simulation of pulsed eddy-current testing signals [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2011, 47(11): 4582-4591.
- [11] ZOLFAGHARI A, ZOLFAGHARI A, KOLAHAN F. Reliability and sensitivity of magnetic particle nondestructive testing in detecting the surface cracks of welded components [J]. Nondestructive Testing and Evaluation, 2018, 33(3): 290-300.

(下转第173页)

将第一组候选点认定为最佳设计点,将最佳设计点输入参数重新带入有限元模型求解出优化后各项输出参数值。对获得的设计变量优化值,需要进行适当圆整,模型优化前后输入参数数值对比,如表2所示。

参数名称	P14	P17
原始参数	5	430
最优参数	3.788 6	400.080 0
修正参数	4	400

表3 目标值对比

项目	质量		最大等效应力		最大总应变		一阶模态频率	
	数值/kg	百分比/%	数值/kg	百分比/%	数值/mm	百分比/%	数值/Hz	百分比/%
优化前	2.557		53.009		1.005 6		62.112	
优化后	1.802 4	29.5	70.979	33.9	1.499 5	49.1	53.662	13.6

## 8 结语

由于爬壁小车底板质量具有较大的优化空间,为实现爬壁小车底板轻量化设计,利用 ANSYS Workbench 有限元分析软件求解出模型最大应力、最大变形、一阶固有频率和底板质量4个输出变量的结果,并将数值结果通过最小二乘法进行拟合并建立了响应面模型。以底板的最大变形量和最大应力为设置上限、一阶固有频率合理区间和质量最小为目标函数,并将尺寸设计变量设置为优化变量,建立了多目标优化数学模型,并基于多目标遗传算法对模型进行计算,求解出最优设计点,实现了模型轻量化目标。

### 参考文献:

- [1] 陈臻. 吸能式汽车保险杠轻量化设计分析[J]. 机械制造与自动化, 2014, 43(1):148-149.
- [2] 王芳. 低温液体运输车轻量化设计的研究[J]. 机械制造与自动化, 2006, 35(5):30-32.
- [3] 刘杰,周云波. 基于 ADAMS Insight 某型电动车悬架仿真优化研究[J]. 机械制造与自动化, 2006, 31(1):116-117.

### (上接第169页)

- [12] 乔海燕,任学冬,史亦韦,等. GH4169 高温合金涡轮盘表面径轴向裂纹的渗透检测可行性[J]. 航空材料学报,2016, 36(6):92-96.
- [13] 迟大钊,马子奇,程怡,等. 不等厚板搭接焊缝缺陷数字 X 射线检测[J]. 焊接学报,2019,40(11):45-48,163.
- [14] BENAMMAR A, DRAI R, GUESSOUM A. Ultrasonic flaw detection using threshold modified S-transform[J]. Ultrasonics, 2014, 54(2):676-683.
- [15] 王均东,赵乾,刘英,等. 木材表面缺陷的激光扫描与检测装置设计[J]. 林业机械与木工设备,2016,44(11):24-27.
- [16] LI Q Y, REN S W. A real-time visual inspection system for discrete surface defects of rail heads[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2012, 61(8):2189-2199.
- [17] 钱晓亮,张鹤庆,张焕龙,等. 基于视觉显著性的太阳能电池片表面缺陷检测[J]. 仪器仪表学报,2017, 38(7):

## 7 优化结果目标值对比

输出变量质量、最大等效应力、最大总应变、一阶模态频率优化前后对比结果如表3所示。从表3中可以看出:优化后,最大等效应力增加到70.979 MPa,但仍远远小于材料的屈服强度276 MPa;而最大总应变仅增加了0.493 9 mm;一阶模态频率减少了13.6%,仍远远大于激振频率;但质量减少了29.5%,从轻量化的设计角度看,达到了优化目的。

- [4] 马小姝,李宇龙,严浪. 传统多目标优化方法和多目标遗传算法的比较综述[J]. 电气传动自动化, 2010, 32(3):48-50.
- [5] GOLDBERG D E. Genetic algorithm in search, optimization, and machine Learning[M]. [S.I.]: Addison-Wesley Professional, 1989.
- [6] 张雪松,秦俊飞,卢洪超. 基于 Workbench 的加热炉管柱结构优化[J]. 中国特种设备安全, 2019, 35(1):12-17.
- [7] 张志红,何桢,郭伟. 在响应曲面方法中三类中心复合设计的比较研究[J]. 沈阳航空工业学院学报, 2007, 24(1):87-91.
- [8] 姜衡,管贻生,邱志成. 基于响应面法的立式加工中心动态多目标优化[J]. 机械工程学报, 2011, 47(11):125-133.
- [9] 秦强,翟疆,张生鹏. 基于 ANSYS Workbench 的导弹舱体结构灵敏度分析[J]. 环境技术, 2018, 36(增刊1):148-152.
- [10] 胡建平,黄磊,王留柱,等. 基于参数敏感度分析的移栽机提升支架轻量化设计[J]. 机械设计与制造, 2017(1):38-42.

收稿日期:2020-09-04

1570-1578.

- [18] 牟新刚,蔡逸超,周晓,等. 基于机器视觉的筒子纱缺陷在线检测系统[J]. 纺织学报,2018,39(1):139-145.
- [19] 赵娟,彭彦昆,Sagar Dhakal,等. 基于机器视觉的苹果外观缺陷在线检测[J]. 农业机械学报,2013,44(增刊1):260-263.
- [20] 毕昕,丁汉. TFT-LCD Mura 缺陷机器视觉检测方法[J]. 机械工程学报,2010,46(12):13-19.
- [21] 张峥嵘,刘红毅,韦志辉. 欧拉弹性正则化的图像泊松去噪[J]. 电子学报,2017,45(1):181-191.
- [22] 唐娅琴. 几种图像平滑去噪方法的比较[J]. 西南大学学报(自然科学版),2009,31(11):125-128.
- [23] 段红燕,邵豪,张淑珍,等. 一种基于 Canny 算子的图像边缘检测改进算法[J]. 上海交通大学学报,2016, 50(12):1861-1865.

收稿日期:2020-06-22