

中空滤棒端面视觉检测系统的设计

李耀光, 王治伟

(许昌烟草机械有限责任公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 针对人工参与中空滤棒端面检测准确率低、滞后性大的问题, 基于机器视觉技术, 对中空滤棒端面视觉检测系统进行研究。该系统采用 PLC 实时读取编码器上的脉冲信号, 触发工业面阵相机对中空滤棒的端面进行图像采集; 再利用图像优化技术对滤棒端面图像进行处理, 保证图像质量; 采用最小二乘法对滤棒端面的轮廓点进行圆弧拟合, 实现中空滤棒端面的尺寸、圆度检测; 通过模板匹配差分的方法, 检测中空滤棒端面是否存在缺陷, 并在人机界面上进行报警显示。以中空滤棒为对象在鼓轮上进行测试, 结果表明, 该系统能够实时地将中空滤棒端面的尺寸、圆度、缺陷检测出来, 在不同速度下检测精度均能达到 99%。该系统能够实时地对中空滤棒进行端面检测, 提升了滤棒生产的智能化水平。

关键词: 中空滤棒; 机器视觉; 图像优化; 端面检测

中图分类号: TH-39 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)12-0030-06

目前, 滤棒成型机具有较高的生产速度, 特种滤棒的生产已实现自动化, 中空滤棒的市场应用也具有相当规模。受制于生产工艺与机器运行状态的影响, 生产过程中出现滤棒次品在所难免, 对滤棒产品进行在线实时检测是提高卷烟滤棒产品质量的重要环节。当下中空滤棒的端面检测还存在大量的人工参与, 指标检测具有严重的滞后性, 不能及时准确地检测出滤棒端面各项指标及缺陷, 造成大批量成品浪费。

随着机器视觉技术的发展与完善^[1], 烟支滤棒检测有了新的方法, 工业视觉检测技术在烟草行业取得了较好的应用^[2-5]。其中, 何建军等^[6]基于机器视觉技术, 对圆柱空心滤棒中出现的显著性外观缺陷进行检测。杨光远等^[7]通过对系统硬件和图像处理算法的优化, 开发了一种爆珠滤棒在线视觉检测系统。邓少鹏等^[8]运用图像处理技术对同轴芯滤棒进行检测, 设计了一种基于机器视觉的端面检测系统。但是, 目前的研究大都是对烟支滤棒视觉检测系统的概括介绍, 一般适用于实验检测, 大批量的在线检测无法进行。为此, 本文基于机器视觉技术, 设计了一种可以应用于滤棒成型机上的中空滤棒端面视觉检测系统。该系统能够在线实时运行, 具有较高的检测速度和精度, 提高滤棒成型机的智能化程度。

1 系统总体方案设计

1.1 系统总体架构

中空滤棒端面视觉检测系统需要满足检测的准确性、及时性, 并保证检测的稳定性和可靠性, 通过获取高质量的滤棒端面图像, 利用合适的视觉处理算法, 从而得到最准确的检测结果反馈给执行单元。系统检测流程如图 1 所示。首先通过可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)连接光耦进行脉冲触发, 控制工业级面阵相机实时采集鼓轮上的中空滤棒端面图像; 其次通过专用的图像处理软件对采集到的图像进行优化, 利用合适的视觉检测算法对图像进行处理; 然后利用合格的成品标准对检测结果进行判别, 并将结果在人机界面上进行显示; 最后通过控制单元驱动现场设备的执行机构进行报警、剔除等操作, 以提醒操作人员及时处理。

1.2 系统硬件设计

系统的硬件组成结构如图 2 所示, 主要包括图像采集模块、软件处理模块、机械控制模块三个部分。图像采集模块和软件处理模块采用独立的工控机去完成拍照和检测功能, 方便在不同的滤棒成型机上进行集成。

图像采集模块由海康威视公司生产的 LED 环形光源、工业级面阵相机、标准镜头构成, 主要用来

收稿日期: 2025-01-07

作者简介: 李耀光(1996—), 男, 河南长葛人, 硕士, 助理工程师, 研究方向为烟机设备电气自动化; 王治伟(1980—), 男, 河南许昌人, 工程师, 研究方向为烟机设备电气自动化。

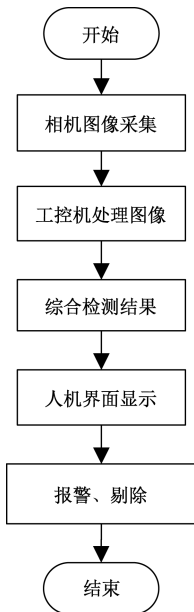


图1 系统检测流程

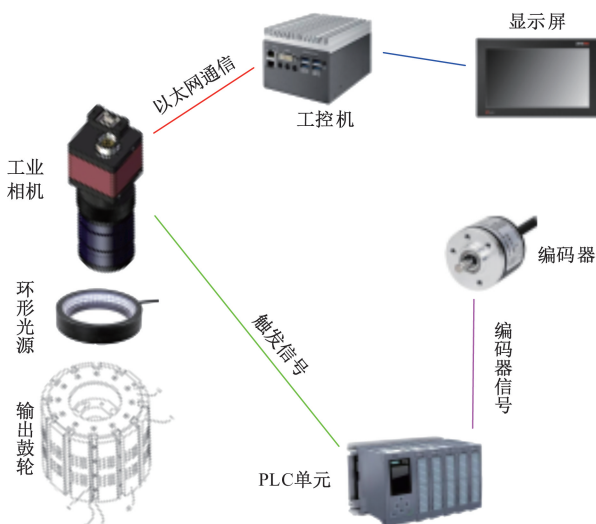


图2 系统硬件结构

实时采集中空滤棒端面图像。LED 环形光源能够克服环境光的干扰,保证图像的稳定性,充分满足高运动模式下的光源照度,有利于对滤棒端面图像进行算法处理;工业级面阵相机配上高亮度发光二极管(light emitting diode, LED)光源可以清晰地采集到高速运动中的滤棒端面图片;合适分辨率的标准镜头与环形光源搭配,可以实现对滤棒端面的精确拍摄。

软件处理模块主要包括工控机、触摸屏显示器。工控机选用海康威视公司的视觉处理工控机,搭配其推出的 VM(vision master)视觉处理软件,通过搭建滤棒端面视觉检测方案,对采集到的中空

滤棒端面图片进行实时处理及检测;同时可以通过触摸屏显示器进行人机交互操作,实现端面检测结果的显示以及数据分析处理。

机械控制模块包含西门子 PLC 控制器、编码器等。滤棒端面视觉检测系统根据编码器脉冲信号计算单支滤棒的检测相位,工业面阵相机接收到 PLC 控制器发送的触发信号后,对输出鼓轮上的滤棒端面进行图像采集。工控机对采集到的滤棒图像进行处理和检测后,将滤棒端面信息在人机交互界面上进行显示与保存。

1.3 系统软件设计

视觉检测系统的操作界面采用 VM 视觉软件平台进行设计开发,搭配图像采集模块使用的视觉套件,能够更好地对图像进行优化处理,满足实时性要求。软件主要完成实时显示端面检测处理过程、各项检测数值及报警结果,同时可以进行滤棒端面检测参数调校等人机交互功能。系统还提供数据采集接口对检测失败和不能识别的图像进行归档,记录操作调整日志。滤棒端面视觉检测系统软件处理流程如图 3 所示。首先触发相机进行图像采集,将图像信息传递给处理软件;其次利用软件对采集到的滤棒端面图像进行预处理,为后续图像处理算法提供清晰度更好的图像数据;然后通过图像算法实现对中空滤棒端面的检测,并对检测数据进行分析与存储;最后将检测结果通过人机界面进行显示。

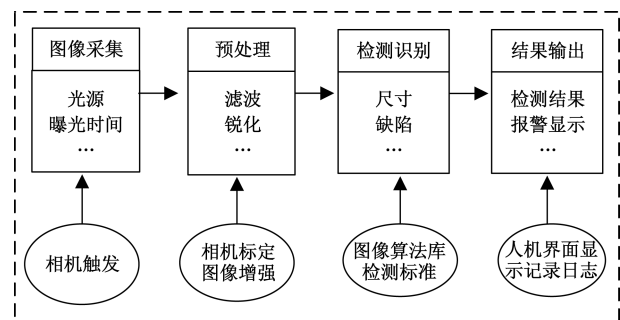


图3 软件处理流程

2 视觉检测技术实现

2.1 检测图像优化

无论是在机器视觉或者视觉检测应用中,相机标定^[9]和图像优化都非常关键,相机标定的精度以及图像的清晰程度直接影响后续工作结果的准确性。

相机标定能够避免拍摄出的图像产生畸变,参考“张正友标定法”,首先制作标准的棋盘格标定

板,从不同角度拍摄 9 组标定板图像作为模板数据集;然后利用图像算法检测出模板图像中的特征点,得到标定板特征点的像素坐标值,根据已知的棋盘格大小和世界坐标系原点,计算得到特征点的物理坐标值;随后利用特征点信息求解相机的内外参数矩阵和畸变系数,并通过极大似然估计法提升参数精度;由于相机透镜存在的畸变问题,标定过程中会影响相机内参标定的准确度,最后采用最小二乘法对畸变系数进行优化,实现相机畸变补偿,使标定结果更准确。

实际应用中相机采集到的图像会受到噪声等因素干扰,使用合适的图像处理算法对中空滤棒的端面图像进行优化很有必要。端面视觉检测系统通过图像增强的方法对滤棒图像进行优化,首先采用中值滤波算法对采集到的图像进行滤波处理,降低图像采集过程中的噪声干扰,增强中空滤棒端面图像的特征,改善原始图像质量;由于滤波后可能会导致图像边界、轮廓变得模糊,然后通过图像锐化的方法对滤波后的图像进行优化,使图像的边缘、细节变得更加鲜明,图像更加清晰;最后利用 Gamma 校正^[10]对锐化后的图像进行处理,在一定程度上消除光照对图像的影响,提升图像的对比度效果。优化后的图像清晰度更高、信息量更丰富、识别效果更好,为后续的图像检测打下基础。

2.2 滤棒端面尺寸检测

理想状态下,中空滤棒端面是标准的正圆且大小一致,内外圆的中心没有偏离。但在实际生产过程当中,机器运行状态、切刀压力作用等情况都可能会使端面发生不必要的形变,造成端面尺寸不达标。因此,需要对滤棒端面尺寸进行检测,在生产过程中及时发现不合格产品进行剔除。

根据鼓轮上中空滤棒的位置,对滤棒图像设定感兴趣区域(region of interest, ROI)作为视觉检测的目标区域^[11],利用圆弧拟合算法对滤棒端面进行检测。考虑到拟合方式要兼顾实时性和准确性,采用最小二乘法对滤棒端面的轮廓点进行圆弧拟合^[12],实现滤棒端面的尺寸检测。

圆的拟合方程可以表示为 $R^2 = (x-A)^2 + (y-B)^2$,其中 R 为圆的半径, A 、 B 为圆心的横纵坐标。令 $a = -2A$, $b = -2B$, $c = A^2 + B^2 - R^2$,可将圆的拟合方程展开化简为

$$x^2 + y^2 + ax + by + c = 0 \quad (1)$$

根据式(1)求出参数 a 、 b 、 c ,即可得到圆心及半径参数。

设近似落在一个圆上的数据点集为 $\{x_i, y_i\}$, $i \in (1, 2, \dots, n)$,点到圆心的距离为 d_i ,则 $d_i^2 = (x_i - A)^2 + (y_i - B)^2$ 。令点 (x_i, y_i) 到拟合圆边缘的距离的平方与半径的平方差为 δ ,则

$$\delta = d_i^2 - R^2 = x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c \quad (2)$$

平方差 δ 越小,拟合出来的圆弧更接近正圆。则利用求导运算,将数据点集 $\{x_i, y_i\}$ 代入式(2)求得 a 、 b 、 c ,进而解得拟合圆的圆心 A 、 B 、 R 。

利用最小二乘法拟合圆弧,会受到离群值的影响,由于采用的是平方距离,所以距离圆弧远的点在最优化过程中会拥有非常大的权重值。为了减轻这些影响,通过引入权重系数来进行迭代加权处理,使用 Huber 损失函数降低异常点对拟合的影响。

最小二乘法对滤棒端面图像的内外圆进行拟合后,能够得出滤棒内外圆的检测半径和圆心坐标,并计算出内外圆的同心度。与标准棒进行对比可以得出内外圆半径检测精度和中心偏离精度,通过设定上下限对尺寸不合格的滤棒进行报警显示。

2.3 滤棒端面圆度检测

滤棒圆度是指滤棒横截面接近理论圆的程度,是判断待检测滤棒是否合格的指标之一。行业规范的滤棒圆度测量公式为

$$O = D_1 - D_2 \quad (3)$$

式中: O 为滤棒圆度; D_1 为滤棒截面直径的最大值; D_2 为滤棒截面直径的最小值。

通过最小二乘法对端面图像中的轮廓点进行拟合,能够得到一个理想圆的圆心坐标值和半径。在进行迭代拟合的同时,以该最小二乘圆的圆心为基准,拟合出轮廓点在圆上的两个最小二乘圆。若轮廓最大圆的半径为 R_{\max} ,轮廓最小圆的半径为 R_{\min} ,则被测滤棒端面的圆度误差为 $R_{\text{err}} = R_{\max} - R_{\min}$ 。

2.4 滤棒端面缺陷检测

滤棒成型机在长时间生产过程中,滤棒端面可能会存在凸凹、脏污、破损等缺陷。对滤棒端面进行缺陷检测,可以将不合格产品进行识别剔除,进而提升产品质量。考虑到系统的实时性问题,采用分支检测的方法对滤棒端面进行尺寸检测的同时进行缺陷检测,节省系统的运行时间。缺陷检测采用模板匹配加差分的思想,将多个滤棒端面图像与同一个理想模板图像进行对比,使两幅图像进行作差处理,找到图像上的明显不同,与模板图像不同的地方就是缺陷。具体步骤如下。

(1)选择一张中空滤棒端面图像创建模板图像。将图像上的感兴趣区域框选出来作为模板区域,获得区域坐标,减少创建模板时的干扰。模板图像的旋转角度为 $\text{rad}(0)\sim\text{rad}(360)$ 。

(2)创建差异模型用于同缺陷比较。差异模型构建完成后,利用部分质量好的滤棒端面图像对差异模型进行训练,提高后续检测精度。

(3)利用差分思想对缺陷图像进行检测。使用仿射变换的方法将当前图像平移旋转到与模板重合,通过差异算子对两张图像进行作差处理,与模板图像不同的地方就是缺陷。

(4)通过设定差集部分的面积阈值,判断当前滤棒端面是否存在缺陷。

3 实验

为了验证中空滤棒端面视觉检测系统的有效性,按照前文所述的软硬件平台进行实验平台搭建,设计检测实验进行验证,并对结果进行分析。实验平台如图4所示,将中空滤棒固定在由电机驱动的鼓轮上,相机安装在实验工装正对鼓轮的方向,通过光耦连接PLC触发相机拍照。

3.1 系统可行性

通过搭建好的实验平台对系统整体的有效性进行验证,利用内外圆直径分别为2.5 mm、5 mm

的标准中空滤棒进行视觉检测可行性实验,实验结果如图5所示。从检测结果中可以看出,该系统能够将内外圆很好地拟合出来,并在检测数据显示区将内外圆的半径、圆度等检测指标进行显示,对检测数量与次品数量进行自动统计,且能够可视化显示图像检测结果,判断滤棒是否为合格产品。

3.2 端面指标检测

中空滤棒端面通常要求内外圆度检测精度在0.35 mm以内,数值越小越接近圆形;内外圆半径检测误差在0.15 mm内;中心偏离距离则能够反映内外圆同心度指标,数值越小,内外圆同心度越高。

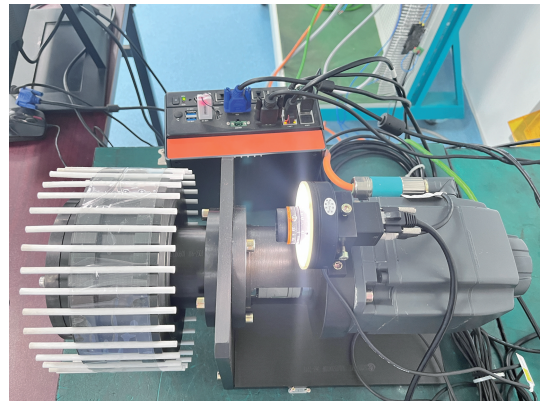


图4 实验平台

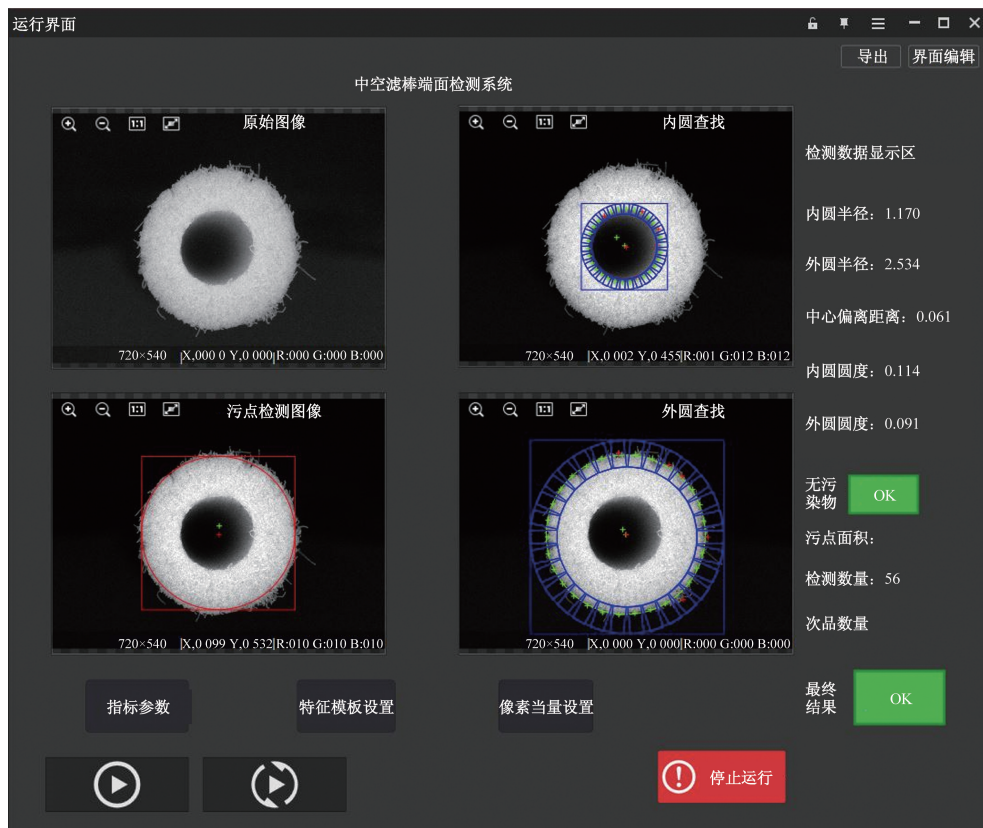


图5 系统可行性实验结果

实际工业生产中,滤棒成型机的输出鼓轮上有 36 个槽,在鼓轮高速转动的情况下,传送鼓轮上的中空滤棒会不断被送到输出鼓轮的每个槽内,利用 PLC 中的凸轮轨迹功能,通过设定合适开断范围,控制光电耦合器触发相机进行准确拍照。

按照允许的测量误差对检测软件进行设定,通过模拟机器在不同速度情况下,对鼓轮上的滤棒进行 1 min 时间检测,各项指标是否合格、精度是否满足要求,检测结果如表 1 所示。从检测结果中可以看出,系统在不同速度下,检测精度均能达到 99% 以上,证明中空滤棒的各项指标结果都在允许的测量误差范围之内,符合测量要求。

3.3 端面缺陷检测

为了验证系统对有端面缺陷滤棒的检测效果,

表 1 检测结果

变量	结果				
运行速度/(支·s ⁻¹)	4	10	20	30	40
次品数量/支	1	3	5	4	7
检测数量/支	240	600	1 200	1 800	2 400
检测准确率/%	99.583	99.500	99.583	99.778	99.708

人为地在鼓轮上的样品滤棒上增加脏污、破损等缺陷,检测效果如图 6 所示。

从图 6 中可以看出,系统利用上文所述的缺陷检测方法能够很好地检测出缺陷产品,对缺陷处进行绿色标记,并在人机界面上显示出污点面积。若检测到缺陷时还会发出 NG 报警信号,识别为不合格产品,为后续的缺陷剔除打下基础,确保产品质量。

4 结论

本文利用机器视觉技术设计了一种中空滤棒端面视觉检测系统,实现中空滤棒端面外观质量的在线检测,提高了生产的自动化程度。以内外直径分别为 2.5 mm、5 mm 的标准中空滤棒为对象进行实验测试,结果表明,系统能够实时稳定运行,在不同速度下都能够准确检测出中空滤棒端面各项指标及缺陷,且判断出产品是否合格。该检测系统能够对中空滤棒端面的各项指标以及各种缺陷进行实时、高精度的检测,后续加装在滤棒成型机上,能够在机器运行的同时进行端面检测,进而对不合格产品实现剔除,提高企业的生产效率。

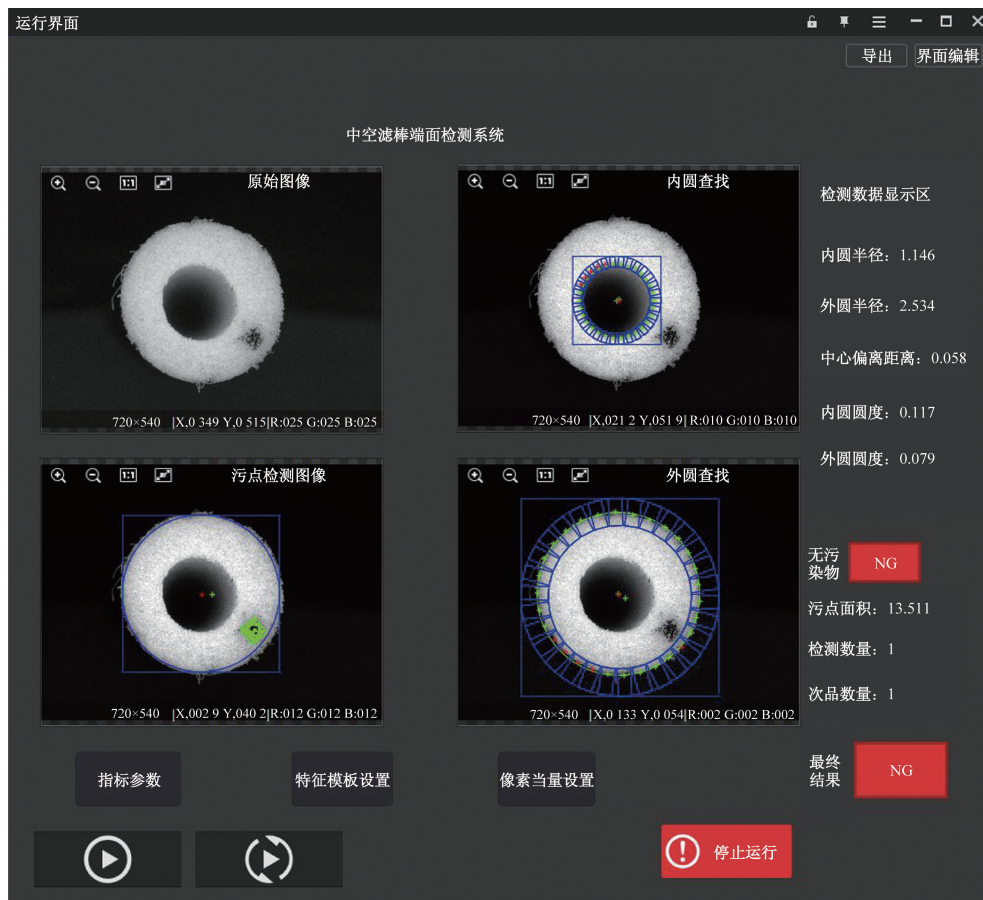


图 6 缺陷检测实验结果

参考文献

- [1] 张艳梅, 邓奥林, 赵伟杰. 机器视觉技术在工业领域的应用现状及展望[J]. 装备机械, 2024(3): 9-15.
- [2] 吴玉生, 李安虎, 万亚明, 等. 基于机器视觉的烟草在线检测技术研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2024, 61(8): 49-62.
- [3] 杨光露, 鲁晓平, 李琪, 等. 基于改进轻量化 YOLOv5s 的卷烟厂烟草粉螟视觉检测方法[J]. 轻工学报, 2023, 38(6): 102-109.
- [4] 盛况, 刘强, 侯宁, 等. 基于机器视觉的透明可视滤棒在线检测与剔除系统[J]. 轻工科技, 2023, 39(3): 116-118.
- [5] 陆飞, 金强, 罗亮, 等. 基于机器视觉的滤棒缺陷检测算法研究[J]. 科技与创新, 2024(10): 119-121.
- [6] 何建军, 吴罡, 喻树洪. 基于机器视觉技术的圆柱空心滤嘴在线检测[J]. 设备管理与维修, 2018(18): 98-99.
- [7] 杨光远, 王闻, 彭三文, 等. 爆珠滤棒在线视觉检测系统的研究与开发[J]. 轻工科技, 2019, 35(4): 90-93.
- [8] 邓少鹏, 欧阳纲, 李立新, 等. 机器视觉在同轴芯滤棒端面缺陷检测中的应用[J]. 轻工科技, 2023, 39(1): 95-98.
- [9] 许鸿萍. 基于机器视觉的工业机器人相机标定方法研究[J]. 现代制造技术与装备, 2024(12): 209-211.
- [10] 刘昱焄. 基于 Gamma 校正的图像对比度增强方法研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学, 2021.
- [11] 郝志浪, 卫卫国, 赵晓波. 应变片外观缺陷检测方法[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(23): 9973-9978.
- [12] 杨庆五, 罗小辉, 刘鑫. 基于 Edge Drawing 的工业图像圆检测算法[J]. 计算机与现代化, 2024(11): 121-126.

Design of Visual Inspection System for End Face of Hollow Filter Rod

LI Yaoguang, WANG Zhiwei

(Xuchang Tobacco Machinery Co. Ltd., Xuchang 461000, Henan, China)

Abstract: In order to solve the problem of low accuracy and great lag in the inspection of hollow filter bar end face, a vision inspection system for hollow filter bar end face was studied based on machine vision technology. Using PLC to read the pulse signal on the encoder in real time, the industrial array camera was triggered to collect the image of the end face of the hollow filter bar. Image optimization technology was used to process the image of the filter bar end face to ensure the image quality. The dimension and roundness of the end face of the hollow filter rod were measured by using the least square method. Through the method of template matching difference, whether there are defects in the end face of the hollow filter rod is detected, and the alarm is displayed on the man-machine interface. The test results show that the system can detect the dimensions, roundness and defects of the end face of the hollow filter rod in real time, and the detection accuracy can reach 99% at different speeds, which lays the foundation for automatic visual inspection of the filter rod and improves the qualified rate of the product.

Keywords: hollow filter rod; machine vision; image optimization; end face detection