

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2022.06.016

# 基于机器视觉的木材径级测量系统设计

刘佳鑫<sup>1,3</sup>, 孔令华<sup>2,3</sup>, 郑积仕<sup>3,4</sup>, 丁志刚<sup>2,3</sup>, 冯丽<sup>5</sup>

(1.福建工程学院 管理学院,福建 福州 350118;2.福建工程学院 机械与汽车工程学院,福建 福州 350118;  
3.数字福建工业制造物联网实验室,福建 福州 350118;4.福建工程学院 交通运输学院,福建 福州 350118;  
5.东华理工大学 机械与电子工程学院,江西 南昌 330013)

**摘要:**针对人工测量木材径级效率低、存在主观误差等问题,基于机器视觉技术开发了一个木材径级自动测量系统。利用 Opencv 设计算法流程,采用背景减法、均值滤波、固定阈值分割得到木材径向截面轮廓的二值图像,再利用边缘检测和椭圆拟合算法拟合轮廓的椭圆,将椭圆短轴像素点数转换为木材直径。利用 C#编写人机交互界面显示木材直径的测量结果并将分类结果传输给下位机。经过实验验证,该系统的软件算法流程能够准确测量木材直径,得到的测量绝对误差在 0.8 cm 以内,单根测量平均时间为 0.895 s,有效提高了木材径级测量的效率,为实现木材径级的自动化分拣提供支撑。

**关键词:** 机器视觉;图像分割;径级测量;最小二乘法

**中图分类号:** S781;TB391.41      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-4348(2022)06-0607-06

## Design of wood diameter classification system based on machine vision

LIU Jiaxin<sup>1,2</sup>, KONG Linghua<sup>2,3</sup>, ZHENG Jishi<sup>3,4</sup>, DING Zhigang<sup>2,3</sup>, FENG Li<sup>5</sup>

(1. School of Management, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;  
2. School of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;  
3. Digital Fujian Industrial Manufacture IOT Lab, Fuzhou 350118, China;  
4. School of Transportation, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;  
5. School of Mechanical and Electronic Engineering, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** Aiming at the low efficiency and subjective error of manual measurement of wood diameter grade, an automatic measurement system of wood diameter grade was developed based on machine vision technology, and the algorithm flow was designed by using Opencv, and the binary image of the contour of the radial section of wood was obtained by background subtraction, mean value filtering and fixed threshold segmentation. Edge detection and ellipse fitting algorithm were used to fit the ellipse of the contour. The ellipse minor axis pixel points were converted into wood diameter. C# was used to program the human-computer interaction interface to display the measurement results of wood diameter and transmit the classification results to the lower computer. After experimental verification, the software algorithm flow of the system can accurately measure the diameter of wood, and the absolute error of the measurement obtained is within 0.8 cm, and the average measurement time of a single piece is 0.895 s, which effectively improves the efficiency of wood diameter grade measurement and provides support for the automated sorting of wood diameters.

**Keywords:** machine vision; image segmentation; diameter measurement; least squares method

收稿日期: 2022-07-24

基金项目: 福建省金森林业股份有限公司校企合作项目(GY-H-20154)

第一作者简介: 刘佳鑫(1996—),男,江西九江人,硕士研究生,研究方向:深度学习与图像处理技术

通信作者: 孔令华(1963—),男,河北沧州人,教授,博士,研究方向:光电检测与视觉技术。

由于木材的径级不同导致其价值不同,大多数木材资源开发公司会对不同径级的木材区分销售。传统的木材径级测量主要采用人工测量的方式,不仅存在主观测量误差,而且效率较低、人力成本高,无法满足自动化生产的需求。

目前,机器视觉技术在工业自动化生产应用中趋于成熟,尺寸测量领域的图像分析与测量方法已有较多研究成果。例如文献[1]采用平滑去噪、文献[2][3]利用 Sobel 算子轮廓提取和二值化的方法获取目标尺寸大小;文献[4][5]提出改进 Canny 算子用于检测图像边缘;文献[6]利用双滤波设计融合自适应模糊中值滤波和双边滤波去除图像椒盐噪声,降低图像噪声同时保证图像边缘不丢失;文献[7]提出一种基于最小二乘法快速椭圆拟合的方法,增加了样本点的分区方法,减少了椭圆重复拟合的次数,节省了拟合时间。

木材径级测量系统一般在木材加工厂房等非固定背景场地中使用,获取图像的背景存在不确定干扰因素。经典的图像算法流程<sup>[1]</sup>针对固定单一背景下的测量效果较好,但是应用于本系统的鲁棒性不高,易错检。本研究的木材径级分拣系统在软硬件上均做出改进,以提高木材测量的鲁棒性和准确度,硬件上采用滤光片和红外光源打光的方法,以达到简化背景的效果,软件上加入背景减法以直接获取到目标区域。本研究利用 Opencv 开源算法库设计图像处理流程,并用 C# 在 Visual Studio 平台上设计系统的界面,达到实时显示测量结果、总分拣数据和储存数据的功能,为木材生产商提供良好的产销数字化接口。

## 1 测量系统设计

为满足实际生产需求,木材径级分拣系统需要准确测量每一根木材的直径并将其分类为 4 个径级,每根木材测量的平均时间小等于 1 s,测量最大绝对误差不超过 1 cm。为达到上述要求,系统在硬件和软件上设计如图 1 所示。

### 1.1 硬件部分

本系统的组成包括光源、滤光片、CMOS 相机、镜头、图像采集卡和计算机等,其中相机采用的是海康威视公司生产的型号为 MV-CA050-20 GM 的 COMS 面阵相机分辨率为 2592×2048 PPI (像素每英寸),镜头的焦距为 12 mm,被测木材的直径范围为 10~45 cm。为了完整抓拍到所有

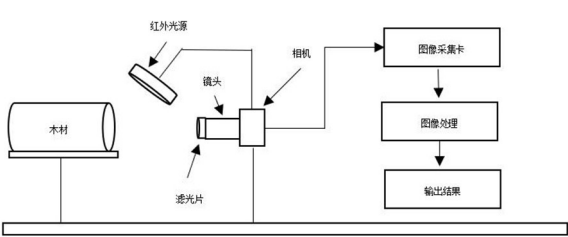


图 1 测量系统组成示意图

Fig.1 Schematic diagram of measurement system composition

木材端面且让最大直径木材端面的像素点占整张图片的 2/3 以上,将相机与木材端面的工作距离设置为 60 cm。传统图像处理流程中一般采用阈值分割的方式将图片的前景与背景分离。为快速分割出木材区域,本研究采用固定阈值分割方法。为了提高阈值分割的鲁棒性,在镜头前面加装透通红外滤光片,采用 24 V 的红外光源,使红外光均匀打在被测木材的端面,效果对比如图 2。

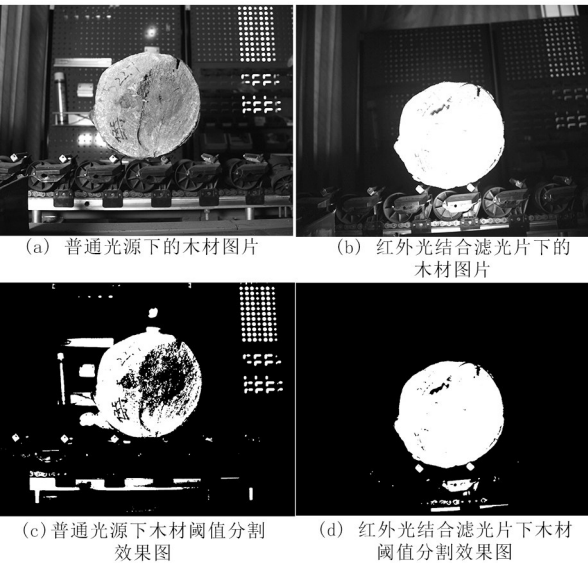


图 2 光源改进前后木材图像处理对比图

Fig.2 Comparison of wood image processing before and after light source improvement

### 1.2 软件部分

木材放在相机抓拍范围内时,会引发红外传感器产生上升沿,从而触发相机拍照得到木材端面的图片并保存在设置的路径中。之后在 Visual Studio 平台上调用 Opencv 库<sup>[8]</sup>对木材端面图片进行处理可得到木材直径大小,该流程在循环语句中重复执行,当下一根木材进入时会按照上述流程测量其直

径。GUI 设计使用 C#在 Visual Studio 平台进行窗体设计,主要功能有:实现通信连接,将测量数据传输到下位机控制系统、显示系统的运行状态、实时显示各级别木材分拣数据、显示打码机操作日志等,人机交互界面如图 3 所示。

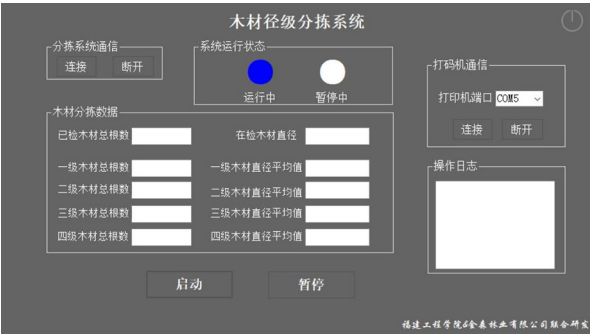


图 3 木材径级分拣系统人机交互界面

Fig.3 Human-machine interface of wood diameter classification system

2 直径测量算法设计

将抓取的圆木图片在 Opencv 平台上经过背景减法、噪声滤波、阈值分割、边缘提取、椭圆拟合后可得到圆木的直径大小,算法流程如图 4 所示。

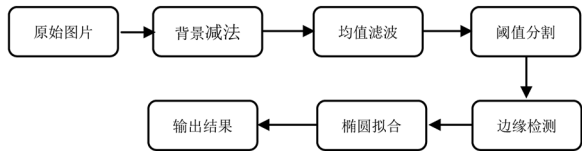


图 4 图像处理算法流程

Fig.4 Image processing algorithm flow

2.1 图像畸变校正

由于镜头组装时存在偏差和透镜的工艺精度问题,导致拍摄的图像存在畸变,为了更好地进行图像处理,提高圆木直径测量的精度,需要对图像畸变进行矫正,本研究采用棋盘格作为标定板。

通过棋盘格对相机标定可以得到相机内参  $c_x$ 、 $c_y$ 、 $f_x$ 、 $f_y$ ,将像素坐标转换为摄像机坐标如式(1):

$$\begin{cases} x = \frac{u - c_x}{f_x} \\ y = \frac{v - c_y}{f_y} \end{cases} \quad (1)$$

得到相机坐标后计算畸变量如式(2):

$$\begin{cases} \Delta_x = x * (k_1 r^2 + k_2 r^2 + k_3 r^2) + 2 p_1 xy + p_2 (r^2 + 2 x^2) \\ \Delta_y = y * (k_1 r^2 + k_2 r^2 + k_3 r^2) + 2 p_1 xy + p_2 (r^2 + 2 y^2) \end{cases} \quad (2)$$

得到畸变量以后便可以算出畸变位置如式

(3):

$$\begin{cases} \hat{x} = x + \Delta_x \\ \hat{y} = y + \Delta_y \end{cases} \quad (3)$$

最后将相机坐标系转换为像素坐标如式(4):

$$\begin{cases} \hat{u} = \hat{x} * f_x + c_x \\ \hat{v} = \hat{y} * f_y + c_y \end{cases} \quad (4)$$

式(2)中  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$ 、 $p_1$ 、 $p_2$  是畸变系数,经过以上步骤可将畸变图像转换为正常图像。

2.2 背景减法

虽然光源的改进可以提高图像处理的鲁棒性,但是系统的工作环境不可避免出现强太阳光的照射,从而干扰红外滤光的效果。加入背景减法可以有效消除太阳光的干扰,使系统测量的鲁棒性达到最优。实现的步骤为相机固定以后抓拍一张没有圆木的场景图片作为模板图,再抓拍一张带有圆木的图片,将两张图片相减便可得到去背景的图片。由于背景时刻在发生改变,模板图片和有木材的图片需要在同一场景和时间下得到的,才能实现最佳效果。利用背景减法移除背景后效果如图 5。



(a) 原始图像 (b) 减背景后的图片

图 5 背景减法处理图像

Fig.5 Image processing with background subtraction

2.3 均值滤波

噪声滤波是图像处理流程中常见的步骤,分为均值滤波、中值滤波、高斯滤波、双边滤波等滤波方式。本系统为更好地进行椭圆拟合,避免噪声干扰导致的拟合不准确,同时又考虑图像处理的速度,采用均值滤波。

均值滤波是典型的线性滤波算法,用被滤波的

像素点周围滤波核范围内的所有像素点均值作为该像素点的值,基于这个方法遍历图像中所有像素点后就可以得到滤波后的图片。

## 2.4 阈值分割

采用全局阈值分割的方法,设定一个固定的阈值,大于该阈值的全部置为 255(白色),小于该阈值的全部置为 0(黑色)。由于前面已经利用光操作将背景单一化,图像二值化后可以快速将圆木区域和背景分割开,其数学原理可以描述为:

$$F_i = \begin{cases} 1 & F_i \geq F_0 \\ 0 & F_i < F_0 \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $F_0$  是设定的阈值,二值化后的图像如图 6 所示。

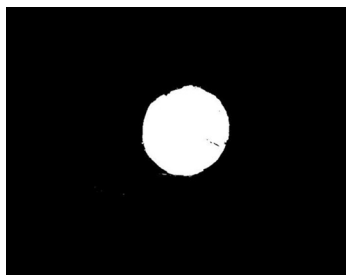


图 6 二值化图

Fig.6 Binarization map

## 2.5 边缘检测

边缘检测是基于灰度突变来分割图像的常用方法,其实质是提取图像中不连续部分的特征,本研究采用 Canny 边缘检测<sup>[9]</sup>算法:先用高斯函数  $G(x,y)$  与输入图像  $F(x,y)$  进行卷积,得到平滑后的图像  $F_s(x,y)$ ,其中  $F_s(x,y)$  等于  $G(x,y)$  与  $F(x,y)$  的卷积。

$$G(x,y) = \exp \frac{-(x^2 + y^2)}{2\sigma^2} \quad (6)$$

使用 Sobel 算子对  $F_s(x,y)$  进行梯度幅度和方向的计算,  $S_x, S_y$  是  $3 \times 3$  的矩阵,分别用于计算  $x$  和  $y$  方向的像素梯度,  $I$  为灰度图像矩阵,计算可得梯度强度矩阵  $G_s(x,y)$ 。

$$g_x(x,y) = S_x * I \quad (7)$$

$$g_y(x,y) = S_y * I \quad (8)$$

$$G_s(x,y) = \sqrt{g_x(x,y)^2 + g_y(x,y)^2} \quad (9)$$

非极大值像素梯度抑制可以消除边缘多余的杂点,其原理是将当前像素点与相邻像素点的梯度强度进行比较,保留梯度强度大的像素点。为了精

准计算,该算法采用线性插值的方法比较像素梯度。

$$G_{up}(x,y) = (1-t) \times G_s(x,y+1) + t \times G_s(x-1,y+1) \quad (10)$$

$$G_{down}(x,y) = (1-t) \times G_s(x,y-1) + t \times G_s(x+1,y-1) \quad (11)$$

式(10)(11)中  $t$  为常数,若  $G_s(x,y)$  为 0,则该点非边缘,经过上述步骤可检测出木材轮廓。

## 2.6 椭圆拟合

木材径向截面大多不是标准的圆形,因此在木材直径测量的标准中,一般采用最短直径作为该木材的最终直径。经过 Canny 算法提取出木材的截面轮廓点,采用最小二乘法对轮廓点进行椭圆拟合,该算法具有以下优点:(1)特异性,其在任何噪音或遮挡的情况下都可以给出有用的结果。(2)不变性,对数据的 Euclidean 变换具有不变性,即数据进行一系列的 Euclidean 变换也不会导致拟合结果的不同。(3)对噪声具有很高的鲁棒性。(4)计算高效性。拟合最少轮廓点数为 6 个,由于木材截面不可避免存在瑕疵会导致得到多个拟合结果,因此在算法中加入拟合结果最大值判断语句便可去除瑕疵拟合结果<sup>[10]</sup>,拟合后可以得到长短轴,再根据短轴长度筛选木材径级大小。椭圆的一般方程为:

$$ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + 1 = 0 \quad (12)$$

Canny 算法提取的圆弧轮廓点集  $\{m_i(x_i, y_i)\}$ ,由最小二乘法的原理可知,其拟合目标函数为:

$$f(a,b,c,d,e) =$$

$$\sum_{i=1}^n (ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + 1)^2 \quad (13)$$

要使  $f$  取最小值,令  $f$  的各项偏导值为 0,即:

$$\frac{\partial f}{\partial a} = \frac{\partial f}{\partial b} = \frac{\partial f}{\partial c} = \frac{\partial f}{\partial d} = \frac{\partial f}{\partial e} = 0 \quad (14)$$

由式(14)得到 5 组方程式后可以解出  $a, b, c, d, e$  的值,即可推出椭圆的相关参数,图 7 为椭圆拟合结果。

## 3 实验与结果分析

根据实际生产需要,采用直径为 5~40 cm 的木材进行实验,将木材按直径分为小径、中径、大径 3 个等级,每个级别随机抽取 10 根木材进行测试。由于木材大多都是不标准圆,根据林业测量





图 7 椭圆拟合结果  
Fig.7 Ellipse fitting result

规则,人工测量时需在主观判断下,将偏小直径测量结果作为该木材的最终直径。同一木材偏小测量结果为 21.3 cm,偏大测量结果为 22.7 cm,两者相差 1.4 cm。

视觉测量是将椭圆拟合后的短轴像素点数转换为木材最终直径,计算方法:在距离相机镜头中心 60 cm 的地方放置一个标准参考物,式(15)中测得该物体的实际长度为  $g$ ,像素数为  $h$ ,由此计算出该标准下单个像素点在实际中的大小。

$$m = \frac{g}{h} \tag{15}$$

$$l = f * \frac{m}{10} \tag{16}$$

式(16)中  $f$  表示椭圆拟合短半轴的像素点数,  $m$  表示图像中单个像素点在实际中的长度,除以 10 将毫米单位转换为厘米后可得到木材直径  $l$ 。

表 1 小径木材测量结果

Tab.1 Measurement results of small-diameter wood				
测量 样本	$d_{\text{人工测量}}$ / cm	$d_{\text{视觉测量}}$ / cm	$\Delta d$ / cm	相对 误差/%
1	10.5	10.9	0.4	3.81
2	10.8	10.8	0	0.00
3	12.3	11.7	-0.6	-4.88
4	13.6	12.9	-0.7	-5.15
5	15.5	15.3	-0.2	-1.29
6	15.6	15.5	-0.1	-0.64
7	17.6	17.3	-0.3	-1.70
8	17.9	17.5	-0.4	-2.23
9	18.2	18.8	0.6	3.30
10	19.9	20.0	0.1	0.50

表 2 中径木材测量结果

Tab.2 Measurement results of medium-diameter wood				
测量 样本	$d_{\text{人工测量}}$ / cm	$d_{\text{视觉测量}}$ / cm	$\Delta d$ / cm	相对 误差/%
1	20.6	20.3	-0.3	-1.46
2	22.3	22.6	0.3	1.35
3	23.9	23.1	-0.8	-3.35
4	24.5	24.3	-0.2	-0.82
5	24.8	25.0	0.2	0.81
6	25.3	25.1	-0.2	-0.79
7	26.0	26.4	0.4	1.54
8	27.5	27.3	-0.2	-0.73
9	28.4	28.1	-0.3	-1.06
10	29.1	29.6	0.5	1.72

表 3 大径木材测量结果

Tab.3 Measurement results of large-diameter wood				
测量 样本	$d_{\text{人工测量}}$ / cm	$d_{\text{视觉测量}}$ / cm	$\Delta d$ / cm	相对 误差/%
1	30.5	30.3	-0.2	-0.66
2	32.3	32.5	0.2	0.62
3	33.9	33.5	-0.4	-1.18
4	34.6	34.1	-0.5	-1.45
5	34.9	34.5	-0.4	-1.15
6	35.7	35.8	0.1	0.28
7	38.6	38.1	-0.5	-1.30
8	38.8	38.6	-0.2	-0.52
9	39.1	39.5	0.4	1.02
10	40.3	40.2	-0.1	-0.23

表 1~3 分别是小径、中径、大径 3 组试验结果,其中人工测量数据是伐木场 3 位检尺员采用标准米尺测量 30 根木材,再将 3 人的测量数据取平均值。3 组试验中视觉测量结果与人工测量的绝对误差值不大,最大绝对误差不超过 0.8 cm,测量精度满足木材生产需求,视觉测量的可行性高。

为验证木材分拣系统的可靠性,将 100 根木材堆放在空地上并进行人工测量,从第一根开始计时直到测量结束共耗时 16 min 40 s,同样的 100 根木材放在检测线上,检测线传动速度设置为 0.5 m/s,每一根木材都经过相机并测量直径,总耗时 89.5 s,漏检率为 0%,单根木材检测的平

均时间在 0.895 s,漏检率为 0%,而人工分拣一根木材的平均时间为 10 s。因此,木材分拣系统在测量精度和测量速度上都满足木材生产的需求。

## 4 结论

为准确快速的测量木材直径,本系统硬件上采用了滤光片和红外光源的相结合的方法,软件上采用背景减法,比传统的图像处理流程大大提

高了图像处理的效率和鲁棒性。经过背景减法、阈值分割、均值滤波等图像预处理操作,预处理后的图片经过最小二乘法椭圆拟合后得到木材直径参数,相对误差在 3.81%以内,单根测量平均时间为 0.895 s。综上,该算法流程满足木材分拣系统的速度和精度要求,实现了实际生产中木材径级自动化分拣,可以为林业生产机械及自动化提供设备支撑。

## 参考文献:

- [1] 韩伟聪,鲍光海.基于机器视觉的竹材尺寸测量系统设计[J].中国测试,2016,42(7):74-78.
- [2] 张萍萍,李童,李茹,等.一种改进的 Sobel 图像边缘检测算法及其实现[J].电视技术,2022,46(5):42-45.
- [3] 李迪,吴奇,杨浩森.基于改进 Sobel 算子的边缘检测系统的设计与实现[J].信息技术与网络安全,2022,41(3):13-17.
- [4] 位营杰,师红宇.基于 Canny 算子的优化研究[J].国外电子测量技术,2021,40(8):77-81.
- [5] 杜绪伟,陈东,马兆昆,等.基于 Canny 算子的改进图像边缘检测算法[J].计算机与数字工程,2022,50(2):410-413,457.
- [6] 徐武,张强,王欣达,等.基于改进 Canny 算子的图像边缘检测方法[J].激光杂志,2022,43(4):103-108.
- [7] 朱森荣,刘杰徽.基于最小二乘法椭圆拟合的改进型快速算法[J].舰船电子工程,2022,42(1):33-35.
- [8] 夏海波.基于 Visual C++的图像增强和轮廓提取研究[J].工矿自动化,2011,37(3):44-47.
- [9] 鲍华良,赵娅.经典 Canny 边缘检测的量子实现[J].吉林大学学报(信息科学版),2022,40(1):36-50.
- [10] GANDER W, GOLUB G H, STREBEL R. Least-squares fitting of circles and ellipses[J]. BIT Numerical Mathematics, 1994, 34(4): 558-578.

(责任编辑:方素华)

(上接第 606 页)

## 5 结语

针对打叶复烤环节箱芯温度检测问题,通过有限元仿真对多轴测温机构的分析完成了自动检测装置各单元的结构设计与控制系统设计,保障了多轴测温机构在满足自身机构强度的同时也能够保障冲孔、测温一体化的平稳性。以 PLC 为控

制核心,箱芯温度自动检测装置的控制要点及控制思路,绘制了基本控制流程。箱芯温度自动检测装置和隔温降噪测温杆的设计为箱芯温度自动检测的灵活使用创造了条件,能够准确的检测箱芯温度、降低技术人员的工作强度,提高检测效率 280%,为打叶复烤烟叶下线工作连续性提供有效环境。

## 参考文献:

- [1] 曹芸,王鹏,鲍穗,等.温度与甘油对烟草颗粒热解及释烟特性的影响[J].烟草科技,2020,53(8):79-85.
- [2] 梁伟,孙建生,金亚波,等.提高烟叶醇化质量的途径探析[J].天津农业科学,2013,19(7):57-59.
- [3] 刘磊,王涛,史绍新,等.复烤片烟自然醇化过程中品质变化研究进展[J].河南农业科学,2015,44(8):7-12.
- [4] 代少升,吴纪红.环境温度对红外测温精度的影响及补偿方法研究[J].半导体光电,2021,42(4):551-555.
- [5] 孟庆华,王建腾,吕建国.温度测量仪器在烟草制丝生产线的应用[J].中国仪器仪表,2006(6):76-79.
- [6] 福建中烟工业有限责任公司.出口物料温度检测装:ZL201320630318.9[P].2013-10-14.
- [7] 孙晓曦,高敏,余鹏举,等.工业用接触式测温技术综述[J].电子世界,2021(23):23-24.
- [8] 毋玉莲,赵高杨,张蒙生.制丝线在线红外测温仪比对测试误差的确定[J].烟草科技,2010,43(10):22-24.
- [9] 杜玉玺,胡振琪,葛运航,等.距离对不同强度热源红外测温影响及补偿[J].红外技术,2019,41(10):976-981.
- [10] 寸焕廷,陈文,何华,等.水分、温度和检测光程对在线近红外光谱法测定结果的影响[J].烟草科技,2011,44(6):43-47.
- [11] 姜国正.PLC 在电气自动化控制中的应用研究[J].冶金与材料,2021,41(6):45-46.

(责任编辑:方素华)