

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2022.06.015

复烤片烟箱芯温度自动检测装置设计及应用

魏松马¹, 卢敏瑞², 章文水², 张腾健², 陈丙三¹

(1. 福建工程学院 机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118;
2. 福建武夷烟叶有限公司, 福建 邵武 354000)

摘要: 针对打叶复烤箱芯测温工序中人工测量劳动强度大、效率低、易受环境温度波动影响等不足, 自主研发了一套温度自动检测装置及隔温降噪测温杆。该装置由动力输送机构、多轴测温机构和 PLC 控制系统组成。仿真分析和现场实验研究的结果表明: 自动测温装置检测效率比人工提高了 280%; 自主研发的测温杆测得的温度与实际温度偏差不超过 0.2℃, 比常规测温杆与红外测温仪更准确。该装置实现了打叶复烤烟叶箱芯温度的自动打孔、检测, 现场运行动态稳定性好, 可为复烤厂提质增效提供有效途径。

关键词: 复烤烟叶; 箱芯; 温度检测; 多轴测温机构; 有限元仿真; PLC

中图分类号: TH122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-4348(2022)06-0601-06

Design and application of automatic detection device for core temperature of tobacco leaf redrying oven

WEI Songma¹, LU Minrui², ZHANG Wenshui², ZHANG Tengjian², CHEN Bingsan¹

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;
2. Fujian Wuyi Leaf Tobacco Co., Ltd., Shaowu 354000, China)

Abstract: In response to the shortcomings of manually measuring temperature in the core of leaf redrying oven, such as high labour intensity, low efficiency and susceptibility to ambient temperature fluctuations, a set of automatic temperature detection device which has a temperature measuring rod integrating the functions of temperature insulation, noise reduction was developed independently. The device consists of a power conveying mechanism, a multi-axis temperature measuring mechanism, and a PLC control system. Results of simulation analysis and experimental field research show that the detection efficiency of the automatic temperature measuring device is 280% higher than that of the manual one; the deviation between the temperature measured by the independently developed temperature measuring rod and the actual temperature is no more than 0.2 °C, which is more accurate than the conventional temperature measuring rod and infrared thermometer. The device realizes the automatic beating and detection of the temperature of the core of tobacco leaf beating and redrying oven; it shows good dynamic stability in field operation, providing an effective way to improve the quality and efficiency for the redrying plant.

Keywords: redrying tobacco leaves; oven core; temperature detection; multi-axis temperature measuring mechanism; finite element simulation; PLC

收稿日期: 2022-08-12

基金项目: 中国烟草总公司福建省公司科技项目(2019350000240150)

第一作者简介: 魏松马(1997—), 男, 福建龙岩人, 硕士研究生, 研究方向: 智能制造、深度学习。

通信作者: 卢敏瑞(1982—), 男, 福建龙岩人, 工程师, 研究方向: 打叶复烤工艺研究。

烟叶醇化是改善其香气、吸味等物理性质,使之更适合加工制造的重要工序。严格的温湿度环境控制是烟叶醇化工艺的关键因素,打叶复烤环节中,下线成品片烟的箱芯温度是主要质量指标之一^[1-3],因此对片烟的箱芯温度进行检测十分必要。

目前,针对箱芯温度的检测装置可分为非接触式与接触式两类。非接触式检测方式中最常见的是红外测温技术^[4-6],它能够迅速地为目标对象进行无损伤温度检测,且不会对待测对象造成干扰。但是红外测温技术的检测精度仅限于检测对象表面温度,且极易因湿度、粉尘等环境因素影响检测的准确性^[7-10]。接触式检测的通用方法是采用测温传感器下探至物料内部测温,定位准确、精度较高,是当前烟厂与复烤厂广泛采用的箱芯温度检测方式。采用接触式测温的过程全部由人工完成,劳动强度大、测温耗时长,严重影响烟箱正常下线生产率。

为了准确获取箱芯温度同时降低检验人员的工作强度、提高检测效率,本研究首先设计了一套箱芯温度自动检测装置,包括自主研发的隔温降噪测温杆;然后利用有限元分析技术对整体结构进行分析,验证结构可行性;最后利用 PLC 精准控制技术优势,实现测温工序的系统化、高效化、自动化。

1 温度自动检测装置结构设计

因烟箱尺寸(1136 mm×720 mm×725 mm)较大,烟箱内部填满压实后的片烟,接触式测温传感器很难直接插入箱芯位置,测温时需在烟箱中心位置由人工进行深度方向打孔,再将测温传感器插入孔中,保持一定时间以读取采样温度。同时,考虑下线生产率和温度测量实际需求,该装置的主要技术指标设计为:单箱测温时长不超过 1.5 min、检测误差不超过 0.5 ℃。本研究设计了箱芯温度自动检测装置,实现了烟箱输送、定位、打孔、测温自动一体化,在保证检测精度的同时降低检验人员工作强度,提高检测效率。

箱芯温度自动检测装置主要由动力输送机构和多轴测温检测机构组成,如图 1 所示。应用动力输送机构完成对烟箱的输送与定位,再利用多轴测温机构对烟箱箱芯进行钻孔和温度检测。

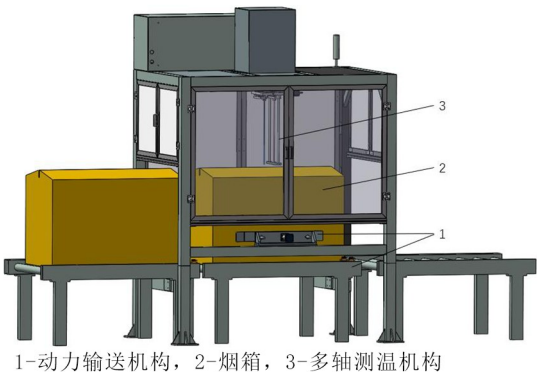


图 1 箱芯温度自动检测装置结构原理图

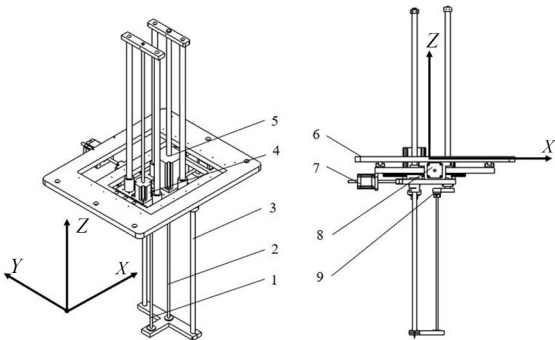
Fig.1 Structural scheme of automatic detection device of oven core temperature

1.1 动力输送机构设计

动力输送机构的设计目的是实现质量较大的烟箱输送,并且在烟箱进入定位区域时能够准确定位,主要由输送辊、升降定位挡板、侧栏和校正组件组成。其工作流程为:当烟箱接近定位区时,首先利用局部输送辊反向控制以抑制惯性冲击能量;然后,侧边定位栏采用具备导向功能的防冲击结构确保输送机构安全;最后利用可升降定位挡板进行限位并在前后两侧安装校正组件,实现侧边栏横向定位,为后续钻孔测温提供有效环境。

1.2 多轴测温机构结构设计与分析

多轴测温机构的作用为实现对复烤烟箱的钻孔与测温,主要由定位单元、钻孔单元和测温 3 个单元组成,具体如图 2 所示。



1-隔温降噪测温杆, 2-钻孔器, 3-钻孔器固定支架, 4-Z2向钻孔器驱动电机, 5-Z1向隔温降噪测温杆驱动电机, 6-固定连接件, 7-X轴定位电机, 8-Y轴定位电机,

图 2 多轴测温机构

Fig.2 Multi-axis temperature measurement mechanism

X 轴定位电机与 Y 轴定位电机安装于固定连

接件上,通过驱动定位电机能够有效实现钻孔与测温的定位,保证测温机构在限定的空间范围内实现无干涉自由运动。钻孔器和隔温降噪测温杆通过其固定支架与驱动电机连接,由 Z_2 向钻孔器驱动电机驱动钻孔器进行快速钻孔, Z_1 向隔温降噪测温杆驱动电机驱动测温杆至孔底端实现快速测温,保障冲孔、测温一体化的平稳性。

1.2.1 隔温降噪测温杆设计

常规测温杆主要由温度传感器、钢制外壳和数据传输线 3 部分组成,如图 3(a) 所示。由于传感器与测温杆钢制外壳直接焊接连接,导致测温时传感器可通过钢制外壳与外界环境进行热量传递,即环境温噪影响了检测准确度。为克服常规测温杆设计缺陷,本研究设计了一种隔温降噪测温杆,如图 3(b) 所示。首先,在钢制外壳尖端设置小孔,使得测温传感器部分能够直接与被测物体直接接触获取实时温度,提高检测响应速度;其次,利用黄金金属薄膜包裹测温传感器与钢制外壳接触的部分,隔绝钢制外壳温度传递的影响;最后,将钢制外壳、黄金金属薄膜和测温传感器进行热熔焊接,保证隔温降噪测温杆的气密性。

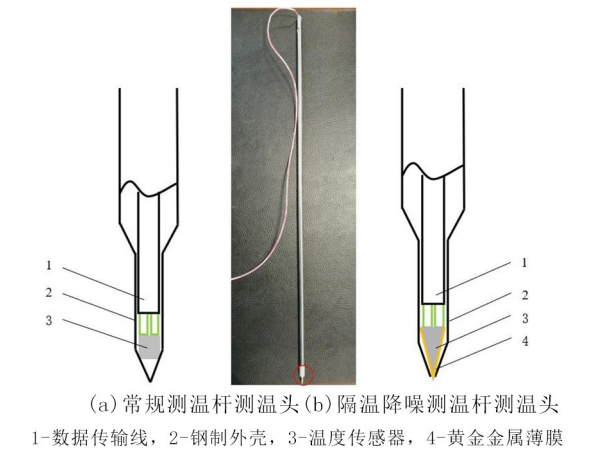


图 3 测温杆示意图

Fig.3 Temperature-insulating noise-reducing temperature measuring rod

2 多轴测温机构静动力学仿真分析

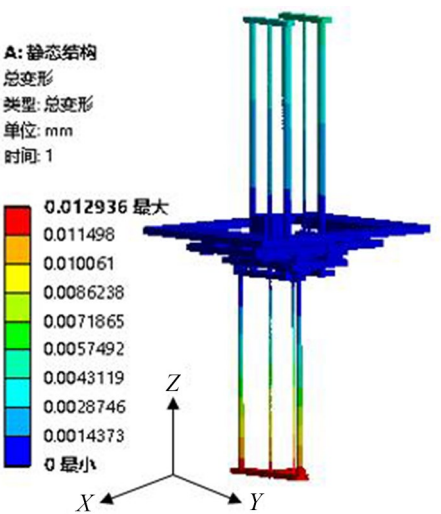
为了校核多轴测温机构的结构强度,使其满足冲孔、测温一体化过程的平稳性,利用 ANSYS 软件对多轴测温机构进行静、动力学仿真分析。根据真实工况对边界条件进行约束,分别对钻孔

器与隔温降噪测温杆施加 300 N 与 5 N 竖直向上的力,主要使用材料见表 1,求解所得静力学结果,如图 4 所示。

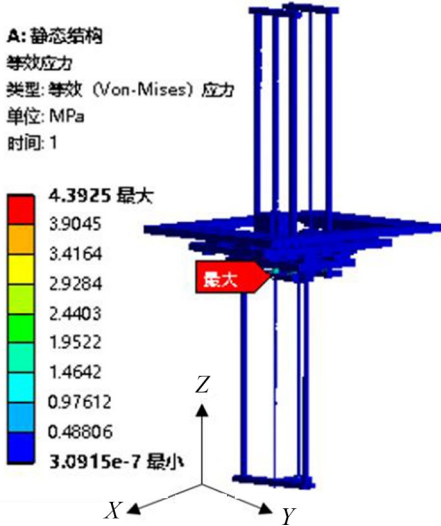
表 1 主要使用材料

Tab.1 Main materials for use

名称	材料	弹性模量/ MPa	密度/ kg · m ⁻³	泊松 比	屈服强 度/MPa
导柱、 导套	GCr15	2.10 E+11	7 850	0.273	518.42
钻孔器	40CrMnMo7	2.05 E+11	7 800	0.280	821.00
其他材料	C45G	1.90E+11	7 800	0.280	410.00



(a) 多轴测温机构总体方向的位移云图



(b) 多轴测温机构应力云图

图 4 静力学结果图

Fig.4 Statics results

多轴测温机构最大变形量为 12.936 μm , 所受最大应力为 4.392 5 MPa, 集中在钻孔器与其固定板的位置, 满足结构的屈服强度。为了解结构在某一易受影响的频率范围内各阶主要模态的特征, 预测在此频段内结构在外部或内部各种振源作用下的实际振动响应, 本研究在静力分析基础上, 对多轴测温机构进行预应力状态下的模态分析, 获得前 6 阶每阶模态对应频率与振型表现如表 2 所示, 振型如图 5 所示。

表 2 每阶模态频率与振型表现		
Tab.2 Performance of each mode frequency and mode shape		
阶次	频率/Hz	振型表现
1	28.701	测温电机导柱 X 向偏摆
2	29.748	钻孔器、测温杆导向柱 X 向偏摆
3	30.451	钻孔器、测温杆导向柱扭转
4	31.668	钻孔电机导柱 X 向偏摆
5	38.317	钻孔与测温单元 X 方向偏摆
6	48.406	钻孔电机与测温电机 Y 向偏摆

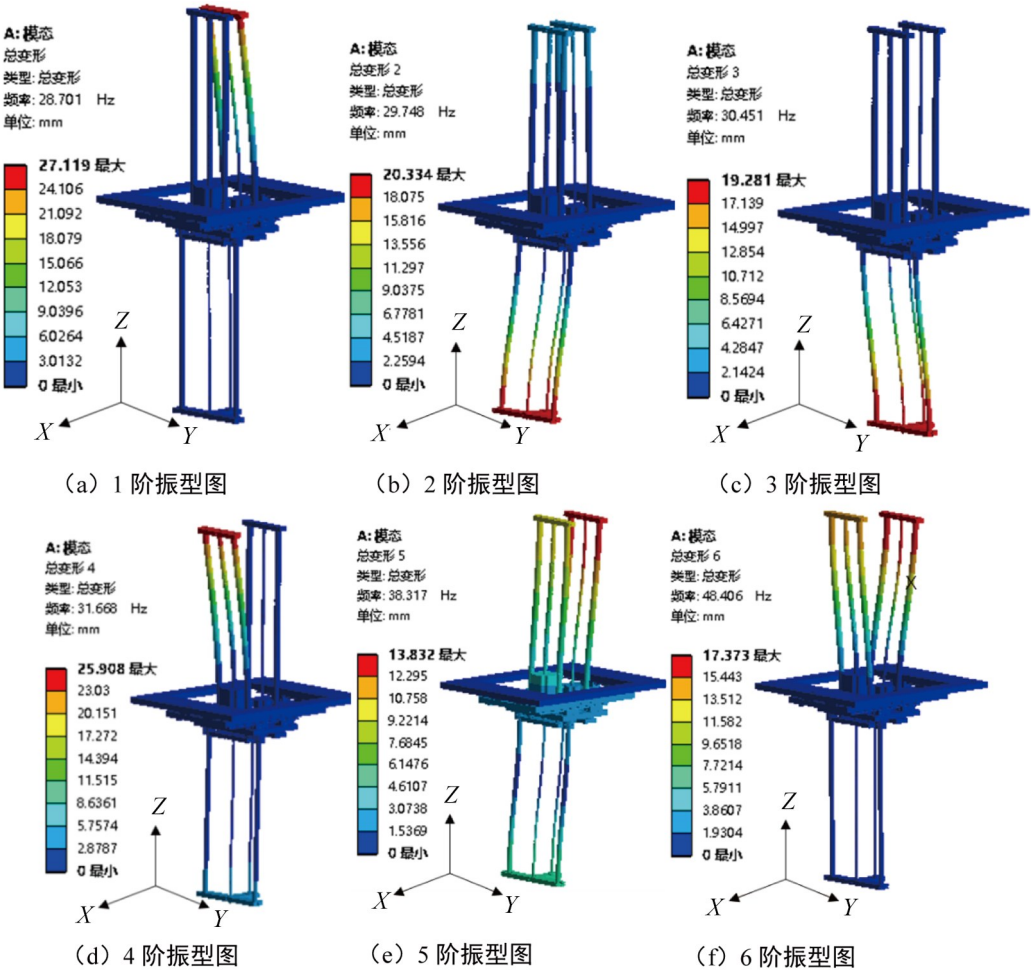


图 5 多轴测温机构前 6 阶模态振型图

Fig.5 The first 6 modal shapes of multi-axis temperature measuring mechanism

在模态分析中,求解的每阶模态的振幅值所表示的意义为在发生共振时结构产生变形的趋势,所以仅从模态分析无法准确描述结构振动幅值。为准确获取不同频率对应的振动幅值,在求解模态的基础上采用模态叠加法对多轴测温机构变形量较大的钻孔电机导柱与测温电机导柱进行

谐响应分析,响应曲线图如图 6 所示。多轴测温机构在频率为 0 ~ 100 Hz,谐波激励作用下,钻孔电机导柱与测温电机导柱在 26.6 Hz 时振动幅值达到最大值 28.608 μm ,但这些区域在该频率下钻孔电机导柱与测温电机导柱应力值为 0.232 51 MPa,远小于材料许用要求,不会对钻孔电机导柱

与测温电机导柱造成破坏。仿真结果表明,多轴测温机构在满足自身机构强度的同时能够保障冲孔、测温一体化的平稳性。

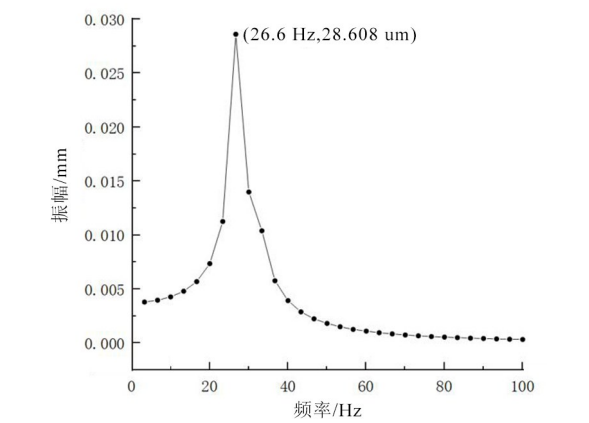


图 6 响应曲线图
Fig.6 Response curve

3 自动测温 PLC 控制系统设计

控制系统是保证各单元设计功能实现的必要组成部分^[11],本装置的控制系统主要由动力输送机构控制与多轴测温控制两部分组成。其中,动力输送机构控制如图 7(a)所示,当烟箱进入定位区时,入料挡料气缸缩回,出料挡料气缸伸出;当烟箱完全进入定位区时,入料挡料气缸伸出,前后校正压缸伸出校正后缩回;待打孔测温完成后执行出料挡板缩回,完成一次送料。

多轴测温机构控制采用步进控制方式如图 8(b)所示,当完成对烟箱的定位后,PLC 向伺服电机发出一定数量的脉冲信号,先后完成钻孔器 X、Y 向定位,驱动 Z₁ 向钻孔器电机完成打孔后回迅速返回初始位置,再执行隔温降噪测温杆 X、Y 向定位,驱动 Z₂ 向隔温降噪测温杆电机完成测温后回迅速返回初始位置,实现打孔测温动作。

本次 PLC 控制系统的设计,采用西门子系类作为控制器,结合箱芯温度自动检测装置控制执行系统完成基本控制流程如图 8 所示。

4 实验与分析

4.1 实验设计

为了检验温度自动检测装置,以福建南平地区 2021 年度复烤烟箱为实验对象,首先记录常温测温杆与隔温降噪测温杆在标准温度时(40 ℃),

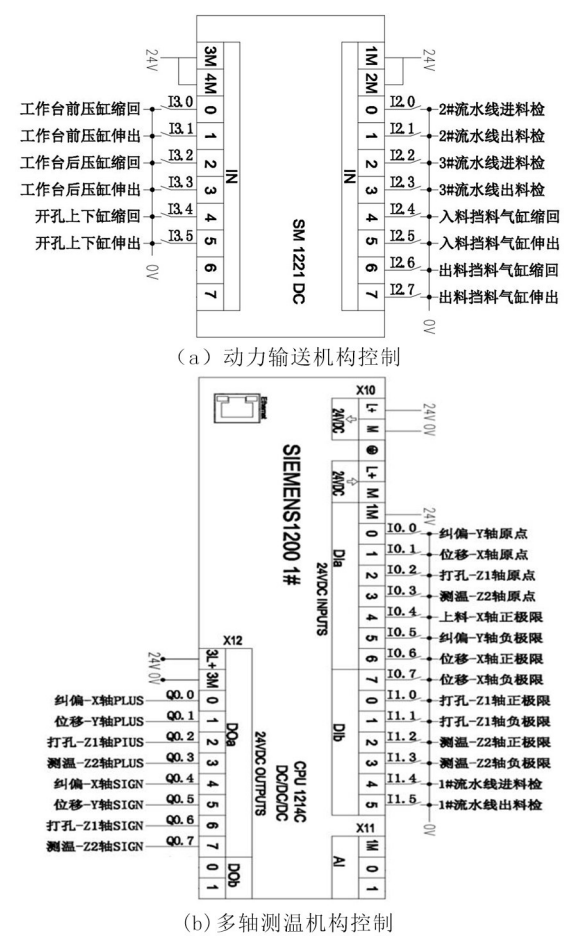


图 7 箱芯温度自动检测装置控制执行系统
Fig.7 Execution system of automatic detection device for oven core temperature

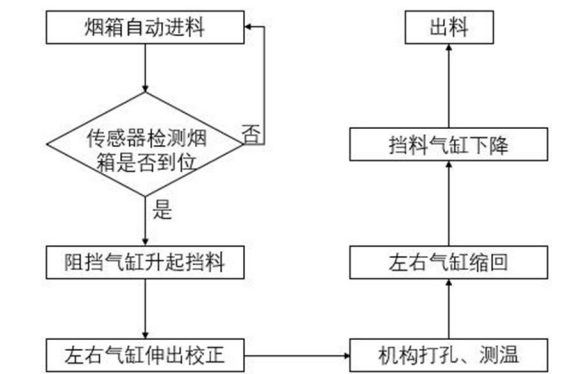


图 8 基本控制流程
Fig.8 Basic control process

30 s 内的测温杆检测数值,每 5 s 记录一次共计 6 次,获取两种测温杆达到稳定温度的响应速度与准确度;其次,利用较为准确的测温杆与红外测温对 100 箱装有打叶复烤烟叶的烟箱进行箱芯温度

检测,比较测温杆与红外测温的测得温度,分析红外测温的检测准度;最后使用人工与自动检测装置进行 40 箱片烟箱芯温度检测,每隔 10 箱记录一次用时,计算自动检测装置比人工检测的效率提升。

4.2 数据分析

两种测温杆测量标准温度时(40.0℃)温度 30 s 内每 5 s 记录一次的温度变化情况如表 3 所示。

表 3 两种测温杆测量标准温度时(40.0℃)温度变化
Tab.3 Temperature changes of two kinds of temperature measuring rods when measuring standard temperature (40℃)

记录序号	常规金属测温杆		隔温降噪测温杆	
	实测温度/℃	温度差值/℃	实测温度/℃	温度差值/℃
1	38.5	1.5	39.4	0.6
2	39.1	0.9	39.9	0.1
3	39.4	0.6	40.0	0.0
4	39.5	0.5	40.0	0.0
5	39.5	0.5	39.9	0.1
6	39.4	0.6	40.0	0.0

从表 3 可知,常规金属测温杆达到相对稳定的温度数值 39.4℃为第 3 次记录数值,与标准偏差值为 0.6℃,而隔温降噪测温杆在第二次记录数值时已达到稳定数值 39.9℃,与标准偏差值为 0.1℃。同时,隔温降噪测温杆首次记录温度数值比常规金属测温杆更接近标准温度时,比常规金属测温杆更具响应灵敏性。因此,隔温降噪测温杆可实现复烤片烟箱芯温度检测的快速性和准确性。最后隔温降噪测温杆比常规金属测温杆强度更高,能够有效的避免测温杆测温时发生刮蹭而导致弯折变形,满足生产连续检测需求,使现场应用更加灵活、高效。

隔温降噪测温杆与红外检测在同一时间对 100 箱复烤片烟箱芯温度进行检测得到的温度数值如表 4 所示。从表 4 可知,对比隔温降噪与红外测温,红外测温所测得的温度普遍偏低,与隔温降噪测温杆测得温度最大差值为 1.2℃,对此采用红外测温仪进行箱芯温度检测误差较大。同

时,随着天气的变化,红外测得的数值也会有所波动,而隔温降噪测温杆能适应各种环境且相对检测数值较为准确。

表 4 隔温降噪测温杆与红外测温温度记录表
Tab.4 Record table of temperature-insulating noise-reducing temperature measuring rod and infrared temperature measurement

序号	$\theta_{\text{红外测温仪}}/^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{隔温降噪测温}}/^\circ\text{C}$	$\Delta\theta/^\circ\text{C}$
1	36.8	37.6	0.8
2	36.0	37.2	1.2
3	36.2	37.3	1.1
4	37.0	37.3	0.3
5	36.4	37.3	0.9
⋮	⋮	⋮	⋮
99	36.4	37.1	0.7
100	37.0	37.2	0.2

箱芯温度自动检测装置和人工检测浙江中烟箱芯温度的耗时记录如表 5 所示。

表 5 自动检测装置与人工测温耗时记录
Tab.5 Time-consuming records of automatic detection device and manual temperature measurement

检测数量/ 箱	人工检测		自动检测	
	总耗时/ min	平均每箱 耗时/min	总耗时/ min	平均每箱 耗时/min
10	30.00	3.00	12.10	1.21
20	65.00	3.25	24.50	1.23
30	103.00	3.43	36.60	1.22
40	140.00	3.50	48.80	1.22

注:平均每箱耗时为每箱烟箱输送、定位、钻孔、测温的总耗时。

根据表 5 分析平均每箱耗时情况,采用人工检测随着检测数量的增加从初始检测 10 箱每箱平均耗时 3 min 到检测 40 箱每箱平均耗时 3.5 min,人工平均每箱平均耗时有所增长;反观采用箱芯温度自动检测装置进行温度检测耗时相对稳定,每箱平均耗时 1.22 min,在检测效率上约为人工检测的 2.8 倍。
(下转第 612 页)

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)