

尼龙单丝生产实时纤度检测与设备控制系统设计

廖庆贺

(柳州市智能制造科技服务中心, 广西 柳州 545616)

摘要 尼龙单丝生产核心要素包括原材料和生产工艺两部分, 尼龙单丝的纤度一致性和精度最终决定了尼龙单丝的品质。本文设计了一种基于红外线光电投影检测技术的尼龙单丝生产在线纤度检测、电热烘箱温度控制和滚轮拉伸机拉力控制系统; 运用尼龙单丝在红外投影检测器中投影面积与电压变化比例算法, 对生产线上多组尼龙单丝纤度进行实时数字化采集和分析, 调节生产设备的温度和拉力。实验结果表明, 尼龙单丝纤度检测数据准确、精度高, 烘箱温度和滚轮拉力控制调节快速有效, 成品尼龙单丝纤度一致性好, 纤度误差小, 系统性能指标达到设计要求, 值得在尼龙鱼线生产行业推广应用。

关键词 尼龙单丝纤度; 红外投影检测; 电热烘箱; 滚轮拉伸机; RS485 总线

中图分类号: TQ342

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.03.009

0 引言

中国是世界尼龙单丝最大的消费国, 也是尼龙单丝的主要生产国之一, 主产区集中在广东、浙江、江苏和山东等地。我国在全球尼龙单丝出口市场份额占比偏低, 国外前十名企业占据了全球 85% 以上的份额。近些年, 随着全球渔业和汽车业等行业的高速发展, 中国尼龙原材料和尼龙单丝产品需求增长迅猛, 渔业、汽车业和医疗领域替代了传统的服装和日用品行业成为需求增长的领头羊。日本是中国尼龙单丝产品及原材料的最大供应国, 特别是以日本东丽公司为代表的几家公司在高端碳纤维和尼龙材料领域均处于领先地位, 中国急需在原材料和生产技术上突破和提高, 摆脱高品质尼龙单丝生产原材料和成品原丝依赖进口的局面; 受限于材料技术和研发积累的原因, 国内尼龙单丝产品质量与国外产品差距较大, 主要体现在纤度误差大、线径误差大、粗细不均、拉力不足及产品批次质量不稳定等方面。尼龙原材料及辅料配方工艺的研究需要长期的技术积累和探索, 短时间内实现大幅度提升和突破较为困难, 但生产技术和工艺可以借助先进技术手段来实现提升, 首先解决进口原料能够生产高品质尼龙单丝产品的问题; 为了解决尼龙单丝生产纤度偏离过大, 粗细不均及拉力强度不足等问题, 相关人员设计了基于红外线光电投影检测技术的尼龙单丝生产在线纤度检测、电热烘箱温度控制和滚轮拉力控制系统, 以尼龙单丝鱼线生产行业为突破口进行

过推广应用, 满足以威海为主要集中地的众多企业在高品质尼龙单丝生产方面的需求。

1 系统总体结构设计

以新增实时纤度检测和设备控制系统不影响原有生产线设备的生产和安全为原则, 在数据通信、数据采集和设备控制方面采用隔离设计, 通过两路隔离 RS485 总线将原有生产线设备与红外投影纤度检测器组连接到 ARM 单片机控制系统, 实现了原有生产线与新增纤度检测与设备控制系统的安全隔离; 多路尼龙单丝实时纤度检测器通过隔离 RS485 总线将检测数据上传到 ARM 单片机控制系统, ARM 单片机控制系统完成生产设备的控制和工艺参数调整, 也可以通过 RJ45 局域网连接到可选的上位机及控制中心, 由上位机及控制中心下发和调整生产工艺参数, 上位机及控制中心亦可以选择直接控制方式跳过 ARM 单片机控制系统直接控制生产设备。若生产企业有多条生产线, 则建议配置上位机和控制中心, 实现网络化管理与控制, 单条生产线则无需配置上位机及控制中心, ARM 单片机控制系统无需控制中心可独立完成纤度检测、生产设备的控制和工艺参数调整等全部系统功能。

尼龙单丝生产实时纤度检测与控制系统整体结构包括尼龙单丝红外投影检测器组、电热烘箱控制与滚轮拉伸机张拉力控制、ARM 单片机控制系统与可选的上位机及控制中心等部分。一个尼龙单丝纤度检测器对应检测一条尼龙单丝, 多个尼龙单丝红外投影检测器

组成的纤度检测器群组负责采集多路尼龙单丝纤度数据,中小型生产线热成型模头丝束在50以下,可以选择全部检测模式,大型生产线模头丝束50以上,可以选择按比例抽检的模式配置尼龙单丝纤度检测器数量,通常抽样检测以不低于80%的比例为宜;尼龙单丝纤度数据由每一个检测器通过隔离RS485A总线上传到ARM单片机控制系统;每一个尼龙单丝纤度检测器都有一个唯一地址,工作模式为RTU从站模式,ARM单片机控制系统作为主机完成RS485A总线内所有尼龙单丝纤度检测器数据的搜集汇总与控制,通过对纤度检测数据分析,根据纤度偏差和分布情况,按照生产工艺要求通过隔离RS485B总线对电热烘箱温度和滚轮拉伸机拉力进行调节,实现尼龙单丝生产的实时纤度检测与设备控制,从而完成高品质尼龙单丝产品生产的目标。

2 硬件系统设计

硬件系统主要由ARM单片机控制系统和多路尼龙单丝红外投影检测器及两路隔离RS485通信设备等部分组成,数据采集和设备控制采用外挂隔离RS485总线成品工业级模块,两路隔离RS485总线可以将生产设备、多路纤度数据采集器和ARM单片机系统实现隔离,将原有生产线设备与新增检测控制系统进行电气隔离,确保两套系统的独立性和安全性。

2.1 ARM单片机控制系统设计

采用意法半导体STM32H573作为单片机控制系统处理器,该系列ARM处理器在国内外的应用已超过15年,技术成熟,开发群体庞大,接口类型比较全面,工业控制领域应用广泛,各类应用开发包和工具非常丰富,可运行的多任务操作系统也稳定可靠,裁剪移植都比较方便,适合本系统的开发应用。

外部设备显示屏采用国产800×480彩色液晶显示器,带有电容式触摸屏,无需另外设计复杂的操作键盘;两路RS485总线通信采用外挂工业级隔离模块,避免自行开发带来的不稳定性;STM32H573芯片自带以太网接口,无需另行设计和开发。本系统硬件设计参照生产厂家的标准化开发板为蓝本,硬件设计方案可靠,属于典型的成熟技术应用,本文不再赘述。

2.2 尼龙单丝纤度检测器设计

需要检测的成品尼龙单丝直径在0.08 mm(0.1号线)至2.34 mm(200号线)之间,通过大量的筛选实验,在接触式检测、电容式非接触检测、视频图像识别检测和红外线投影检测方式中,最终确定采用灵敏度高、可靠性高、实时性好和成本适中的红外线投影检测方式,选择进口高灵敏红外线发射和接收管作为检测

器件^[1],经严格的波束带宽筛选、温度漂移稳定性配对筛选和老化试验,保证元器件的参数一致性。采样处理器选用12位精度A/D转换高达30万次/秒的国产STC16F系列1T高速单片机,确保数据采样的速度和精度;防护设计采用一体化全密封铝合金外壳作为纤度检测器载体,一体化电路板安装在铝合金壳体导槽内^[2],红外接收和发送管安装在凹形检测槽的预留圆孔卡口处,红外发射和接收窗口设计为5×8 mm,面积40 mm²镂空矩形,红外线发射和接收窗口内侧均镶嵌有点光源与平行光转换透镜^[3],红外线发射和接收管均安装在透镜焦点处;同时,为了降低环境杂波干扰和可见光等干扰,在红外线发射和接收侧矩形窗口安装了定制的两层红外线带通滤波片^[4],对红外线工作频段以外的杂波进行滤除,提高检测精度和稳定性,实验结果达到设计要求。每一路尼龙单丝纤度检测都采用独立设计,一个尼龙单丝纤度检测器只检测一路尼龙单丝纤度,多个尼龙单丝红外投影检测器集群实现多路尼龙单丝纤度检测,尼龙单丝纤度检测数据通过隔离RS485总线进行上传。

尼龙单丝在经过红外投影检测窗口时,在平行红外光线的照射下,在矩形接收窗口所形成的投影反映了尼龙单丝直径截面积信息。尼龙单丝静止状态下,线径越粗投影面积越大,线径越细投影面积越小,投影面积与尼龙单丝的线径为正比例关系,固定时间段投影面积的平均值反映了红外投影检测窗口内尼龙单丝的理想纤度,用标准尼龙单丝或不同规格的尼龙单丝进行静态检测主要用于标定和校准尼龙单丝红外投影纤度检测器精度以及工作参数;静态尼龙单丝投影面积与纤度的关系转化为电压信号比例关系。

尼龙单丝运动状态下,投影面积的变化反映了尼龙单丝线径的实时变化,线径变粗,截面积变大,投影面积变大,传感器电压升高,线径变细,截面积变小,投影面积变小,传感器电压降低,电压的变化也就对应了尼龙单丝线径与理想线径的偏离和线径粗细分布的信息,实现了线径粗细是否均匀和线径增加或减少的检测;参照生产线滚轮线速度,一段时间内的检测数据曲线也就反映了线径粗细分布是否均匀和平均线径增加或减少的变化,设定时间段内的平均电压通过计算可以得出尼龙单丝的平均纤度以及纤度偏离信息,最大电压分布曲线可得知纤度正偏离趋势,最小电压分布可得知纤度负偏离趋势,经过综合前述检测数据分析,对生产线上的滚轮拉伸机张力和电热烘箱温度进行调整,不断地修正尼龙单丝纤度偏离,确保成品尼龙单丝纤度始终处于靠拢理想纤度的趋势,从而实

现高品质尼龙单丝产品的生产；投影面积的变化与尼龙单丝的纤度变化关系转化为电压信号比例关系纤度变化与电压关系。

3 软件功能设计

3.1 纤度检测器软件功能设计

为了保证检测软件的运行效率、实时性和可靠性，纤度检测控制器 STC16F 系列单片机选择无操作系统裸机工作模式，为了保证纤度检测数据采集的实时性和时间一致性，数据采集设计为定时中断触发模式，避免查询模式检测数据间隔不均匀和丢失检测时机^[5]；A/D 采样频率足够高才能更真实地记录尼龙单丝纤度信息，数据采样频率设计为 40 MSPS，远低于生产厂家对于该系列芯片 A/D 转换 80 MSPS 规定的上限，避免中断服务不及时程序溢出引发的意外；一个完整的 A/D 采样周期：从开始转换到完成转换由两个中断服务子程序完成，由定时中断服务子程序完成高速 A/D 数据转换的触发，由 A/D 数据转换完成中断触发中断服务子程序完成数据采集和数据存储转换，平均纤度计算、纤度偏差计算、最大纤度偏离分布和趋势分析等功能则由主程序中的对应子程序完成；通信协议采用 MODBUS V3.0，检测器统一选择为 RTU 从站模式，检测数据通过 RS485 通信服务子程序进行传输，由 ARM 单片机控制系统按检测器地址轮询触发对应的纤度检测器完成数据上传，其他如检测器工作参数的调整、检测精度修正、红外线检测对管标定、纤度检测模拟信号放大电路参数调试及调整等也由 ARM 单片机控制系统进行控制。鉴于纤度检测器程序工作流程比较清晰单一，程序框图省略。

3.2 ARM 单片机控制系统软件功能设计

软件开发和运行环境选用 RT-Thread 嵌入式实时多任务操作系统，该系统在国内活跃度高，开发应用教材和实例丰富^[6]，裁剪和优化比较方便，适合作为本控制系统的设计开发和运行环境。检测同步机制设计是为了多路尼龙单丝纤度检测器步调一致，确保系统内所有的纤度检测器都是规定时段检测的数据，多路纤度数据汇集子程序设计为定时中断触发模式，由定时中断服务子程序完成多路纤度检测器同步检测和通信协同；通信协议采用 MODBUS V3.0，RTU 主站模式，ARM 单片机控制系统作为通信主机，按地址轮询总线内所有检测器，对应的检测器完成数据上传。生产工艺的调整、电热烘箱温度采集与温度调节控制，滚轮机拉伸机拉力采集与张力调节控制等功能则由主程序相应的子程序完成。辅助功能软件主要包括上位机及控制中心数据通信与指令交换，下位机纤度检测器工作

参数的调整、检测精度修正、红外检测发送接收对管标定、A/D 转换模拟信号放大电路参数调整及温度漂移修正^[7]等子程序，限于篇幅有限和没有需要特殊说明的内容，程序框图略。

4 结论

1. 基于 STC16F 系列单片机的多路尼龙单丝纤度检测器和 ARM 单片机主控制系统组成的尼龙单丝生产实时检测系统方案是可行的，经反复实验和逐步完善，待技术成熟后，可以满足中小型尼龙单丝生产企业对质量提升和高品质产品生产的需求，并且具有纤度控制响应速度快，检测精度高，纤度误差控制范围小等优点。通过增加上位机和控制中心数据分析和管理系统，可以实时监测、调整优化生产工艺和监控产品质量，形成一套完整的生产控制与信息化管理系统，进一步提高企业两化融合水平和企业综合竞争力。

2. 该系统设计还有诸多不足和需要改进的地方，如本系统设计对红外传感器的精度和一致性的要求较高，配对筛选难度大，周期长，成本较高；红外发送接收对管的安装受限于模具同轴加工精度，光轴一致性调试过程复杂，效率较低，难度大，不利于批量化制作；检测器铝合金全密封防护设计增加了后期维护难度，目前只能采取直接更换方式；在模具结构和加工精度等方面都有待进一步优化，检测器没有设计电路及壳体恒温功能，模拟信号放大电路容易受环境温度影响产生温度漂移，在恒温工作环境方面还有优化设计的地方，需通过进一步完善系统各项设计，形成成熟的技术，以便在尼龙单丝生产行业推广应用。

参考文献：

- [1] 常巍. 光电传感器的应用研究[J]. 通信电源技术, 2023(03):121-123.
- [2] 邢印强. 浅谈活蛹缂丝蚕品种优选装置信号采集器设计[J]. 中国新技术新产品, 2020(03):36-37.
- [3] 仲崇丽, 路龙宾, 刘华. 基于深度学习的机载遥感通信系统自适应光学波前校正技术[J]. 激光杂志, 2024(06):174-178.
- [4] 刘卓, 杨晓京, 谢启明, 等. 硫系玻璃基底红外光学薄膜的研究进展[J]. 激光与电子学进展, 2022(21):30-41.
- [5] 李刚. 单片机 C 语言应用开发技术[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2022.
- [6] 胡永涛. 嵌入式系统原理及应用: 基于 STM32 和 RT-Thread[M]. 北京: 机械工业出版社, 2023.
- [7] 李莉, 张萍, 沙占军. 基于 PID 滑模面的中空成型机料筒的时变滑模温度控制策略[J]. 塑料科技, 2020(07):118-121.