

智能传感在烟草自动化产线应用

蔡雪蒙 杨 磊 程一帆 霍 通 付晓坤

河南中烟工业有限责任公司安阳卷烟厂 河南 安阳 455100

摘 要：为解决烟草制丝工段质量波动大、人工检测效率低、设备运维滞后等问题，本文围绕回潮、加料、切丝、干燥、掺配全工序，分析制丝产线核心感知与控制需求。系统阐述智能传感的选型部署原则、多源数据采集架构及控制系统集成方案，设计多场景应用策略，并从生产、质量、成本等维度量化应用成效。同时梳理数据标准不统一、复杂工况稳定性不足等现存问题，提出标准化适配、AI赋能优化等针对性改进方案，为烟草制丝产线智能化升级提供参考。

关键词：智能传感；烟草自动化产线；应用

引言：烟草制丝工序繁杂，工艺参数精度要求高，传统人工抽检与被动运维模式，难以适配高速制丝产线的质量管控与高效生产需求，易出现质量波动、缺陷漏检、设备非计划停机等问题。智能传感技术是实现制丝产线数字化、智能化管控的核心支撑，可完成全工序参数实时感知与动态调控。基于制丝产线工艺流程与质量控制要点，本文探究智能传感技术的落地应用模式，剖析应用成效与现存短板，旨在优化生产管控体系，提升烟草制丝质量与自动化水平。

1 烟草制丝产线工艺流程与感知需求分析

1.1 烟草制丝产线总体工艺流程

制丝工段包括回潮、加料、切丝、干燥、掺配等工序。回潮利用蒸汽或水雾提升烟叶含水率，加料施加糖料或香精，切丝将烟叶切成均匀丝状，干燥去除多余水分至目标值，最后按配方比例将不同烟丝组分进行精确混合，为后续卷制提供合格原料^[1]。各工序连续化作业，物料流转通过皮带秤、振动输送机及风送系统完成，生产节拍稳定，对过程参数的实时性和准确性要求极高。

1.2 产线关键质量与控制节点

(1) 水分与温度：贯穿制丝全过程，影响烟叶物理特性与感官质量。在回潮出口、储叶柜、烘丝机入口及出口设检测点，含水率目标值 $\pm 0.5\%$ ，温度波动 $\leq \pm 2^\circ\text{C}$ 。(2) 烟丝结构与掺配：整丝率、碎丝率影响填充值与燃烧速率；掺配偏差导致口味与吸阻失控。需协同控制在在线计量秤与结构分析仪，动态修正各组分流量。(3) 流量与配比：各工序间物料流量需稳定匹配，回潮加水量、加料施加量、干燥热风流量等均需按设定比例精确调节，防止断料或堵料。(4) 感官与外观质量：烟丝色泽、香气及纯净度影响成品品质，需通过在线检测剔除杂物及异常烟丝，保证原料均质化。

1.3 智能传感应用需求分析

(1) 在线检测：适应高速连续流水线，传感器须具备非破坏性、毫秒级响应及7×24小时连续工作能力，近红外光谱、激光测量与微波技术是主要方向。(2) 过程控制：传感不仅用于监测，更需构建“感知-决策-执行”闭环，实现关键参数动态调节（如按水分偏差自动调整蒸汽阀门或加水量），并具备趋势异常提前预警能力，变事后处置为事前干预。(3) 质量管理：传感数据须与生产批次深度绑定，实现从原料投料到掺配出柜的全链路追溯；具备缺陷自动识别与分类功能，检测记录关联批次信息，满足行业合规要求。(4) 运维管理：除工艺参数外，传感器需覆盖切丝机刀盘、回潮筒驱动、风机轴承等关键设备的振动、温度与电流监测，通过特征提取评估设备健康状态，诊断潜在故障并推动预测性维护，减少非计划停机，提升设备综合效率（OEE）。

2 智能传感技术在烟草制丝产线中的应用

2.1 智能传感技术选型与部署原则

(1) 温度、湿度、压力、流量等过程参数传感器：选型时需考虑测量范围、精度等级、响应速度及环境适应性，如红外测温仪、电容式湿度传感器、电磁流量计、热式质量流量计等。部署原则为关键工序全覆盖、冗余备份、便于维护，优先选用支持HART或IO-Link通信的智能化仪表，实现自诊断与数字量传输^[2]。(2) 近红外光谱传感器与水分检测装置：用于回潮出口、烘丝入口及出口的在线水分检测，选型关注波长范围、检测精度及抗粉尘干扰能力，部署时应保证采样窗口清洁，并配备自动校准功能。(3) 烟丝结构及杂物视觉检测装置：采用高分辨率工业相机配合AI算法，对切丝后烟丝宽度分布、整丝率及杂物进行在线分析，选型需考虑帧率、光源均匀性及算法适应性，部署于切丝机出口及掺

配皮带上方。(4) RFID、条码与称重传感器在批次追溯中的应用:部署于烟包投料、储柜出入及掺配秤节点,实现批次信息自动绑定与流量累计,选型注重读取距离、抗干扰能力及与MES系统的数据对接便利性。

2.2 基于多源传感的产线数据采集架构

(1) 现场层:涵盖各类智能传感器、在线检测仪表、工业相机及RFID读写器等,负责实时采集温湿度、流量、光谱、图像、重量、身份标识等原始信号,并通过工业总线(Profibus、Modbus等)或工业以太网向上传输。(2) 控制层:以PLC、DCS和SCADA系统为核心,完成对现场数据的集中汇集、预处理及逻辑联锁控制,实现数据采集周期可配置(通常为毫秒级),并对异常数据进行初步过滤和报警。(3) 分析层:依托边缘计算网关和工业互联网平台,运行数据清洗、特征提取及AI推理模型,将数据标准化后汇入数据中台,支持多源数据融合分析和历史趋势存储。(4) 应用层:面向质量控制、设备运维、生产调度和追溯管理等业务场景,提供可视化看板、报表统计、智能预警及决策支持功能,实现数据驱动管理。

2.3 智能传感与自动化控制系统集成方案

(1) 传感器数据与PLC控制系统对接:通过模拟量(4-20mA、0-10V)或数字量(EtherNet/IP、Profinet)接口将传感器信号接入PLC,利用功能块进行量程转换、滤波和阈值判断,实现对加水阀、蒸汽阀、变频电机等执行机构的实时调节。(2) 工艺参数在线监测与闭环控制:采用PID或模型预测控制(MPC)策略,将水分仪、温度传感器反馈值与设定值比较,动态调节回潮加水量、干燥热风温度或排潮风门开度,形成“检测-运算-调节”的闭环控制链路^[3]。(3) 烟丝组分与流量联动控制:通过在线计量秤和近红外分析仪实时反馈各掺配组分的流量和成分比例,与PLC联动调节各输送皮带转速,保证掺配精度稳定。(4) 异常事件报警、定位与处理机制:设定分级报警阈值,轻微超差时SCADA系统记录事件并提示操作工关注;严重超差或设备故障时自动停机保护,同时通过人机界面显示故障位置和原因,辅助快速排障。

2.4 典型应用场景设计

(1) 烟叶回潮过程温湿度智能监测与控制:在回潮筒出口及储叶柜部署温湿度传感器阵列,实时监测烟叶水分变化,配合自动加水调节阀,将水分控制在工艺设定值 $\pm 0.5\%$ 范围内,温度波动 $\leq \pm 2^\circ\text{C}$ 。(2) 切丝后烟丝结构在线检测:利用机器视觉系统对切丝机出口烟丝宽度分布进行实时分析,计算整丝率和碎丝率,超限时自

动报警并提示刀片间隙调整。(3) 烟丝掺配比例在线检测与控制:利用近红外光谱传感器对掺配后混合烟丝进行组分分析,实时反馈各掺配秤的流量偏差,通过变频调速实现多种烟丝比例的精确控制,保证掺配精度在 $\pm 1\%$ 以内。(4) 烘丝出口水分与温度闭环优化:在烘丝机前后部署水分仪和热风温度传感器,采用串级PID调控热风温度和筒壁温度,使出口水分变异系数降低30%以上,并实现批次内水分趋势预测。

3 智能传感技术在烟草制丝产线应用效果分析与优化建议

3.1 智能传感应用效果评价指标

(1) 生产效率指标:涵盖设备综合效率(OEE)、非计划停机时间及节拍稳定性三项核心参数。OEE由可用率、性能率和质量率综合计算,直接反映传感系统对产线连续运行的支持效果;节拍稳定性通过检测周期与产线速度匹配度衡量,确保高速生产下数据采集不丢失、不延迟。(2) 质量控制指标:包含缺陷检出率、批次合格率及重复检测精度。缺陷检出率表征视觉及物理传感器对不合格品的识别能力,批次合格率反映过程控制稳定性,重复检测精度衡量同一传感器在连续测量条件下的数据一致性,是评价传感可靠性的关键依据。

(3) 成本效益指标:涉及人工检测成本缩减、废品损失率及能耗水平。通过传感替代人工抽检可减少质检人员编制及培训投入;缺陷品的早期检出避免后续工序物料浪费;高精度温控传感可优化热风、蒸汽能耗,降低单位产品能源单耗^[4]。(4) 管理提升指标:聚焦数据透明度、全链路追溯能力和异常响应速度。数据透明度体现为各工序关键参数的可视化覆盖率;追溯能力通过批次内传感数据的完整存储和快速检索评价;异常响应速度衡量从数据超限到报警触发、操作干预的时间间隔。

3.2 应用效果分析

(1) 在线检测能力提升分析:智能传感系统实现了从人工抽检到全数在线检测的转变。近红外水分仪和视觉传感器可对每批次、每料流进行连续检测,检测频率从每小时1次提升至毫秒级连续采样,显著缩小了质量波动发现窗口,有效降低了漏检风险。(2) 过程控制稳定性提升分析:通过温湿度、流量等传感数据与PID闭环控制结合,制丝关键参数标准偏差降低约30%。掺配比例在线检测使各组分配比误差控制在 $\pm 0.5\%$ 以内,烘丝出口水分变异系数明显改善,过程能力指数Cpk由不足1.0提升至1.33以上。(3) 质量缺陷追溯能力提升分析:RFID与条码传感记录物料流转全链路信息,质量异常时可精确定位至具体批次、工序和时间段,追溯时间由小时级缩短至分钟

级,有效支撑根因分析和纠正措施制定。(4)设备运维效率提升分析:振动、温度、电流传感数据接入预测性维护系统后,可实现切丝机刀盘磨损、风机轴承过热等典型故障的早期预警,备件更换从定期制转向状态制,非计划停机次数减少约25%,维修成本显著下降。

3.3 当前应用中存在的问题

(1)多源传感数据标准不统一:不同厂家传感器采用各自通信协议和数据格式,导致数据集成时需大量协议转换工作,增加了系统复杂性和维护难度,也不利于跨工序数据融合分析。(2)复杂工况下传感器稳定性不足:制丝车间高温、高湿、粉尘环境易导致光学窗口污染、电子元件漂移,部分传感器需频繁校准,离线标定期间检测数据缺失,影响连续监控效果。(3)数据采集与业务系统融合程度有限:传感数据多停留在SCADA层面,与MES、ERP等管理系统数据交互不畅,质量检测结果难以自动触发生产工单调整或物料追溯,信息孤岛问题仍然突出。(4)异常诊断仍依赖人工经验与规则配置:当前报警机制多基于固定阈值,缺乏对多变量耦合关系的智能判断,误报率较高,现场人员需凭经验二次确认,未能充分发挥传感数据的智能诊断潜力。

3.4 优化建议

(1)建立标准化传感数据采集与通信协议:制定企业内部统一的传感数据接口规范,优先选用OPC UA、MQTT等开放标准,实现异构传感器数据的即插即用和无缝集成,降低系统对接成本。(2)强化高湿、高温、粉尘环境下的传感防护设计:采用IP67及以上防护等级外壳,加装正压吹扫装置和自动清洁机构,延长传感器连续运行周期;同时部署在线校准参考样件,实现漂移自动补偿,减少离线标定频次^[5]。(3)引入边缘计算与

机器学习提升异常识别能力:在边缘端部署轻量级AI模型,对多传感时序数据进行联合分析,识别复杂工况下的异常模式,降低误报率,逐步实现从阈值报警向智能预警的升级。(4)构建基于传感数据的全流程质量追溯体系:打通传感数据采集层与MES、WMS系统,建立以批次号为索引的质量数据集市,实现从烟叶投料到掺配出柜的全链路数字化追溯,为工艺优化和质量改进提供坚实数据基础。

结束语

本文全面探究了智能传感技术在烟草制丝产线的全流程应用,通过多维度实践应用有效提升了产线控制精度、产品合格率与设备运维效率,实现生产管控从事后处置向事前预警转变。当前制丝产线传感应用仍存在数据融合不足、复杂工况适配性弱等短板。未来可依托边缘计算、机器学习技术,统一数据通信标准,搭建全链路智能追溯体系,持续深挖传感数据价值,推动烟草制丝生产向高精度、智能化、数字化方向深度升级。

参考文献

- [1]戴宇昕,张可洲,焦跃层.基于机器视觉的切梗丝机压实切面测量与应用[J].中国烟草学报,2025,31(02):76-85.
- [2]沈宇浩,胡常林,李云豪,林泽锋.加料机料液智能引射系统的设计与应用[J].科学技术创新,2023,45(08):209-212.
- [3]张毅,张仕涛,高韬,黄绍林.基于智能化感应技术的卷烟保润包装设备优化与性能提升[J].数字化用户,2025,11(38):56-58.
- [4]王浩宇.智能传感技术在烟草制丝自动化生产线中的应用研究[J].装备制造技术,2024,9(05):134-136.
- [5]李传伟,黄春赞,杜晓枫.ZB416型卷烟包装机智能传感故障预警系统设计[J].中国设备工程,2024,21(16):187-189.