 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v3i8.11540

Analysis of the Application of Intelligent Control Technology in Key Equipment of Tobacco Processing Machinery

Jingheng Lu

Shaanxi Zhongyan Industrial Co., Ltd. Baoji Cigarette Factory, Baoji, Shaanxi, 721013, China

Abstract

The cigarette production process is characterized by high continuity, rapid equipment cycle times, closely coupled process parameters, and multiple sources of quality variation. Relying solely on empirical parameter settings and post-processing checks makes it difficult to meet the demands of multi-brand, small-batch, and stable processing requirements in actual operations. Implementing intelligent control technologies for key tobacco machinery requires integrating sensor monitoring, process modeling, control algorithms, actuators, and quality feedback into the equipment's operational logic, thereby shifting control focus from individual parameter adjustment to coordinated regulation of process states. Based on practical experiences from tobacco production stages such as tobacco preparation, rolling, and packaging, this paper analyzes the implementation foundations and specific application approaches of intelligent control technologies for four critical equipment categories: tobacco drying, cutting, rolling, and packaging.

Keywords

intelligent control technology; tobacco processing equipment; filament drying machinery; splicing machinery; Industrial Internet of Things

智能控制技术在烟机关键设备中的应用分析

卢竞恒

陕西中烟工业有限责任公司宝鸡卷烟厂，中国 · 陕西 宝鸡 721013

摘　要

卷烟生产过程具有连续性强、设备节拍快、工艺参数耦合紧、质量波动来源多等特点，单纯依靠经验设定和事后检验，难以适应多牌号、小批量、稳定化加工的现场要求。围绕烟机关键设备开展智能控制技术应用，需要把传感检测、过程建模、控制算法、执行机构和质量反馈统一纳入设备运行逻辑之中，使控制对象从单一参数调节转向工艺状态协同调节。本文立足烟草生产中制丝、卷接、包装等现场实践，围绕烘丝、切丝、卷接、包装四类关键设备，分析智能控制技术的实施基础与具体应用方式。

关键词

智能控制技术；烟机设备；烘丝机械；卷接机械；工业物联网

1 引言

智能控制技术作为人工智能与自动控制理论深度结合的尖端领域，正以前所未有的深度和广度重塑工艺控制领域技术模式。烟机设备的控制水平直接影响烟丝水分、切丝质量、烟支外观和包装稳定性。企业在推进设备升级时，不能只把智能控制理解为增加算法模块，而应结合原有 PLC 系统、传感器布置、工艺标准、维修习惯和操作人员经验，形成可调试、可维护、可追溯的控制方案。智能控制技术只有嵌入真实生产节拍，才能在烟机关键设备中稳定运行。

【作者简介】卢竞恒（1992–），男，中国陕西宝鸡人，本科，助理工程师，从事电气自动化、烟机设备、机械原理研究。

2 智能控制技术概述

智能控制技术是指在传统自动控制基础上，引入模型计算、参数辨识、规则判断、视觉识别、数据融合和在线优化等方法，使控制系统能够根据设备状态、物料变化和质量反馈调整控制策略。对于企业现场而言，智能控制不是脱离 PLC、变频器、伺服驱动和检测仪表的独立系统，而是在现有电控平台上增加更精细的判断层和调节层 [1]。烟机设备加工对象具有含水率变化、物料流量波动、机械磨损累积和高速节拍干扰等特点，因此智能控制技术应重点解决三类问题：一是通过传感器和工艺数据识别当前状态，避免操作人员凭经验频繁修正；二是通过预测模型或自适应算法提前判断参数偏移，减少滞后调节；三是把质量检测结果反馈到执行机构，使温度、速度、压力、相位和剔除动作保持协调。

企业应用该技术时应坚持小步改造、稳定验证和分层控制原则，先保证数据准确、信号可靠和执行机构响应稳定，再逐步加入预测、优化和联动控制功能。

3 烟机关键设备中智能控制技术的实施支撑

烟机关键设备应用智能控制技术，首先需要稳定的数据支撑。企业应围绕烘丝出口水分、切丝宽度、烟支外观、烟包成型、主机速度、负压、气压、振动和温度等变量布置检测点，并对传感器进行编号、量程确认、采样周期设定和定期校准。烘丝机械可重点配置入口水分仪、出口水分仪、热风温度传感器、蒸汽压力检测和电子皮带秤，采样周期可按 1 至 5 秒设置，异常数据应由上位机自动标记。切丝机械应采集刀辊转速、排链速度、刀门压力、砂轮进给、刀片修磨次数和电机负载，便于判断切丝状态是否由物料厚薄、刀片锋利度或传动间隙引起。卷接机械应把烟支长度、圆周、重量、吸阻、端部状态、接装纸位置和剔除信号统一接入质量数据库，避免视觉检测只停留在报警层面。包装机械应采集商标纸到位、铝箔纸张力、烟包成型压力、胶点温度、输送链同步、缺包缺支和停机代码，为后续联动控制提供依据[2]。其次，企业需要完成控制平台支撑。原有 PLC、HMI、伺服驱动、变频器、现场总线和工业以太网应保持稳定，新增模型计算模块不宜直接替代底层安全联锁，而应作为设定值优化、参数修正和异常预警层接入。再次，企业需要建立工艺支撑。不同牌号、批次、来料等级和环境湿度应有对应的基准参数，工艺员、维修员和操作员应共同确认可调范围，防止算法给出超出设备能力的控制量。最后，企业需要建立验证支撑。每项智能控制功能上线前应经过空载联调、带料试验、连续批次观察和故障回退测试，所有参数修改应形成版本记录，保证设备在网络中断、传感器漂移或模型失准时仍可切回常规控制状态。

4 智能控制技术在烟机关键设备中的应用

4.1 模型预测控制技术在烟用烘丝机械中的应用

烟用烘丝机械承担烟丝干燥、松散和水分定型任务，模型预测控制技术应围绕出口水分稳定和热量输入协调展开。第一，企业应先完成烘丝对象建模。技术人员可从制丝中控系统提取入口水分、入口物料温度、电子皮带秤流量、热风温度、筒壁温度、排潮负压、蒸汽压力和出口水分等数据，剔除断料、清线、人工强制升温等异常时段，再按牌号、工艺流量和季节湿度划分样本。模型预测时域可设为 120 至 240 秒，控制周期可设为 5 至 10 秒，确保算法覆盖烟丝从进料到出料的主要滞后。对于入口水分波动超过 0.5 个百分点的批次，模型还应增加入口水分斜率变量，防止控制器只依据瞬时值判断干燥负荷。第二，企业应把预测结果转化为受限调节量。底层 PLC 仍负责热风温度、筒壁温度、蒸汽阀和排潮风门闭环，预测模块只给出设定值修正，单次热风温度修正宜控制在 ±2℃至 ±3℃，筒壁温度修正宜控制在 ±1.5℃以内，物料流量补偿宜控制在额定流量的 ±2% 以内。若出口水分目标为 12.5% 左右，系统应优先保持水分中心值稳定，不宜为追求瞬时误差最小而频繁改变热风设定。第三，企业应按料头、稳态和料尾设置分段控制策略。料头阶段应结合筒体预热状态和入口水分偏差提前修正热风设定，稳态阶段应减少频繁动作并保持出口水分围绕目标值小幅波动，料尾阶段应根据剩余流量降低热量惯性影响，防止少料高温造成水分偏低。工艺员可在批次开始前选择对应牌号模型，并限定热风、筒壁和排潮三个变量的优先级。第四，企业应建立异常判别和回退流程。当出口水分仪连续三次跳变、入口流量低于工艺下限、蒸汽压力明显波动或排潮负压异常时，系统应冻结模型输出，保持最近一次稳定参数，并提示操作员检查水分仪镜窗、蒸汽调节阀、排潮管路和筒体粘附状态。设备恢复后应先运行一个短周期观察窗口，再允许模型重新参与设定值优化。

4.2 自适应控制技术在烟用切丝机械中的应用

烟用切丝机械的加工状态受来料铺层、刀门压实、刀辊转速和刀片磨损共同影响，自适应控制技术应围绕切丝宽度稳定和刀具状态跟随进行实施。第一，企业应明确自适应控制的采集对象。控制系统可读取入口烟片水分、铺料高度、排链速度、刀辊转速、刀门压力、主电机电流、砂轮进给次数和切丝后结构检测结果，并将叶丝宽度目标值按牌号控制在 0.8 至 1.1 毫米范围内[3]。采样数据应与批次、班次、刀片编号和修磨次数绑定，避免算法把刀片磨损误判为短时来料波动。对于含水率偏高或铺层厚度变化较大的来料，系统应先降低参数修正灵敏度，防止排链速度被频繁追调。第二，企业应建立切丝状态分类规则。当宽丝比例升高且刀辊电流同步上升时，系统应优先判定刀刃锋利度下降，并提示增加修磨频次或检查砂轮接触状态。当碎丝比例升高且刀门压力偏高时，系统应优先降低压实压力或微调排链速度。当切丝宽度整体偏移但电流变化不明显时，系统应检查排链速度与刀辊转速比例。若长丝比例升高且铺料高度波动较大，控制器应把来料均匀性列为主要干扰源。第三，企业应采用渐进式参数修正。自适应控制器每次只调整一类主要执行量，排链速度修正幅度宜控制在 0.5% 至 1.0%，刀门压力修正宜控制在 0.02 至 0.05MPa，砂轮进给补偿应结合刀片使用时长逐步执行。每次修正后应至少观察三个稳定采样周期，确认宽丝、碎丝和长丝比例变化后再进入下一轮调整。若两轮修正后质量指标未回到允许范围，系统应停止自动调节并保留诊断记录。第四，企业应把自适应控制与维修确认衔接。若同一刀片在连续两个批次中出现电流升高、宽丝增加和修磨后恢复时间缩短，系统应生成刀具维护提示，而不是继续扩大速度补偿。维修人员更换刀片、调整刀门或校正排链后，应在 HMI 中录入维护动作，使控制器重新识别基准状态。班组应在交接班核对刀片寿命、砂轮余量和参数修正结果，保证模型使用的状态信息与现场实物一致。

4.3 视觉反馈控制技术在烟用卷接机械中的应用

烟用卷接机械运行速度高、相位关系紧，视觉反馈控制技术应把图像识别结果转化为接装、成形和剔除动作的在线修正依据。第一，企业应合理布置视觉检测位置。检测相机可设置在烟支成形后、接装纸包裹后和剔除阀前的稳定输送段，配套同轴光、条形光或环形光源，重点识别端部空松、接装纸偏移、搭口皱褶、滤嘴错位、钢印偏差、污点和破损。相机触发信号应取自主轴编码器或烟支到位光电，曝光时间宜控制在微秒级，图像编号应与烟支移位寄存位置保持一致。安装时还应避开烟支翻滚和输送跳动明显位置，减少机械振动造成的边缘虚影。第二，企业应建立缺陷识别阈值和反馈规则。接装纸横向偏移可按 0.2 毫米左右设置预警阈值，连续超差时系统应向 PLC 发送偏移方向和偏移量，由控制器微调纸带张力、切刀相位或胶辊相位。若端部缺陷集中出现，系统不应只执行剔除，还应联动检查烟丝供给、烟枪负压、布带状态和端部切割质量。对于偶发污点和单支破损，系统只记录缺陷和剔除结果，不宜触发机械相位调整。第三，企业应校准视觉检测与剔除动作之间的时间关系。调试人员可用模拟缺陷烟支验证图像采集、缺陷判定、PLC 接收、移位寄存和气动剔除的全过程，剔除阀延时应根据主机速度、输送距离和电磁阀响应时间计算，防止误剔或漏剔。主机升速或降速时，延时参数应随编码器脉冲自动换算。剔除口后端应保留抽检位置，便于确认缺陷烟支是否准确离线。第四，企业应完善模板维护和现场复核。更换滤嘴规格、接装纸颜色、钢印版式或光源组件后，操作员应重新标定灰度、边缘和尺寸模板。每班应抽取图像样本与实物烟支比对，镜头积尘、光源衰减和背景反光引起误检时，应先清洁和校准，再允许系统恢复反馈调节。

4.4 工业物联网控制技术在烟用包装机械中的应用

烟用包装机械由供纸、折叠、成型、上胶、输送、检测和条盒包装等机构组成，工业物联网控制技术应围绕设备互联、状态识别、节拍协同和质量追溯进行部署。第一，企业应构建设备数据采集网络。包装机 PLC、伺服驱动、变频器、温控仪、胶缸、负压系统、振动传感器和检测光电应通过工业以太网、OPC UA 网关或边缘采集终端接入数据平台。以 ZB45 类包装机组为例，运行速度可达到每分钟数百包，数据采集周期应区分控制数据和管理数据，主机速度、停机代码、缺包信号和剔除信号可按秒级采集，轴承温度、胶缸温度和压缩空气压力可按 10 至 30 秒采集。第二，企业应建立包装机械状态标签。停机原因不能只记录为设备停机，而应细分为商标纸不到位、铝箔纸断纸、拉线偏移、胶点异常、烟包堵塞、推包不到位和检测剔除等类别，并与班次、牌号、操作员、备件更换和环境温湿度绑定。状态标签统一后，控制系统才能识别高频故障位置，并把部分重复停机转化为提前预警。第三，企业应开展节拍协同控制。卷接机向包装机供给烟支时，缓存通道、提升机、储烟装置和包装主机之间应保持速度匹配。工业物联网平台可读取前后设备速度和缓存量，当包装机短暂停机时，上游卷接机可按缓存余量自动降速；当包装机恢复稳定后，系统再逐步提升速度，避免频繁急停造成烟支挤压和烟包成型不稳。第四，企业应把质量追溯数据回写到控制过程。每个班次的剔除数量、缺陷类别、停机时间、胶温波动、纸张批次和设备状态应形成批次记录。若同一纸张批次连续出现折叠不正，系统应提示调整纸库定位和吸纸负压；若胶点异常与胶缸温度波动同步出现，系统应联动检查温控模块和胶路清洁状态。工业物联网控制技术在包装机械中的落地应以边缘计算为主，关键控制仍保留在 PLC 侧，数据平台主要承担状态识别、参数建议和追溯分析功能。

5 结语

智能控制技术在烟机关键设备中的应用，应以设备稳定、工艺可控和质量可追溯为基本前提。企业推进相关工作时，需要把算法能力落实到传感器准确性、控制边界、执行机构响应和人员维护流程之中。烘丝、切丝、卷接和包装设备的控制对象各不相同，技术路线也不能简单套用。只有围绕具体设备建立分层控制、在线验证和异常回退机制，智能控制技术才能在连续生产中保持稳定运行。

参考文献

[1] 冯可嘉,董棋,祖昊. 智能控制技术在烟草设备中的应用[J]. 科技创新与应用,2025,15(12):193-196.

[2] 谢强,杨巧玉,吴建,周彦君,王浩.自动化技术在烟草机械中的应用分析[J].南方农机,2026,57(3):150-154

[3] 吴东、杨光露、魏新峰、索粮.人工智能在线监测技术在烟草机械故障诊断中的应用[J].机械制造, 2020, 58(11):3.