

卷烟卷制与包装过程的质量控制要点研究

周家云, 曹 黎

云南中烟红塔烟草(集团)有限责任公司玉溪卷烟厂, 云南 玉溪

收稿日期: 2025年6月14日; 录用日期: 2025年7月17日; 发布日期: 2025年9月3日

摘 要

卷烟卷制与包装环节是决定最终产品品质的核心阶段。本文系统研究了该过程中影响卷烟外观、物理指标、吸食品质及安全性的关键质量控制点。通过对原料筛选与预处理、卷制工艺参数优化(如烟丝结构、填充密度、接装纸透气度、烟支规格)、包装材料性能控制(如卷烟纸、滤棒、内衬纸、商标纸、透明纸)、设备状态维护与校准、在线与离线质量检测技术应用(如重量控制、圆周检测、密封性测试、AI视觉检测、大数据分析)、以及生产环境(温湿度、洁净度)管理以及智能制造技术应用案例等要点的深入分析, 揭示了各环节对卷烟综合质量的影响机理及其相互作用。研究强调, 建立覆盖全过程、多维度、智能化的质量监控体系, 并辅以严格的标准化操作、设备预防性维护和人员培训, 是保障产品质量稳定、提升企业核心竞争力的关键。文中整合国内标杆案例实证数据(例如, 湖南中烟AI视觉检测缺陷识别率99.7%), 并对比国际研究进展, 为行业提供可落地的技术路径。本研究为卷烟制造企业优化质量控制策略、提升工艺水平提供了理论依据和实践参考, 对推动行业高质量发展具有积极意义。

关键词

卷烟卷制, 卷烟包装, 质量控制, 工艺参数, 设备维护, 质量检测, 生产环境, 仪器应用

Research on Key Points of Quality Control in Cigarette Making and Packaging Processes

Jiayun Zhou, Li Cao

Yuxi Cigarette Factory, Hongta Group (Tobacco) Co., Ltd., Yunnan China Tobacco Industry Co., Ltd., Yuxi Yunnan

Received: Jun. 14th, 2025; accepted: Jul. 17th, 2025; published: Sep. 3rd, 2025

Abstract

The cigarette making and packing is the core stage that determines the final product quality. This paper systematically investigates the key quality control points within this process that affect cigarette appearance, physical parameters, smoking quality, and safety. Through an in-depth analysis

of critical aspects—including raw material selection and pre-treatment, optimization of making process parameters (such as cut tobacco structure, filling density, tipping paper permeability, cigarette specifications), control of packaging material properties (like cigarette paper, filter rods, inner liner paper, brand paper, transparent film), equipment status maintenance and calibration, application of online and offline quality inspection technologies (e.g., weight control, circumference detection, seal integrity testing, AI visual inspection, big data analytics), production environment management (temperature, humidity, cleanliness), and case studies of smart manufacturing technology application—it reveals the influence mechanisms and interactions of each stage on the overall cigarette quality. The research emphasizes that establishing an intelligent, multi-dimensional quality monitoring system covering the entire process, supplemented by rigorous standardized operations, preventive equipment maintenance, and personnel training, is crucial for ensuring stable product quality and enhancing core corporate competitiveness. The paper integrates empirical data from domestic benchmark cases (for instance, China Tobacco Hunan Industrial's AI visual inspection achieving a 99.7% defect recognition rate) and contrasts them with international research advancements to provide the industry with actionable technical pathways. This study offers a theoretical foundation and practical reference for cigarette manufacturers to optimize quality control strategies and improve process levels, holding positive significance for promoting the high-quality development of the industry.

Keywords

Cigarette Making, Cigarette Packaging, Quality Control, Process Parameters, Equipment Maintenance, Quality Inspection, Production Environment, Instrument Application

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

烟草工业在全球范围内具有重要的经济地位,而卷烟作为其核心终端消费品,其品质直接关系到消费者的健康体验、品牌忠诚度以及企业的市场声誉与经济效益。伴随着全球控烟力度的加大和消费者健康意识的提升,市场对卷烟产品的质量要求呈现出日益严苛和多元化的趋势。消费者不仅关注卷烟的感官品质(如香气、劲头、刺激性、余味),也愈发重视其物理性能(如吸阻、通风率、燃烧均匀性)、外观质量(如烟支圆整度、接装位置、包装精美度)以及产品的安全性、稳定性和环保性。

卷烟的生产是一个复杂且精密的系统工程,其中卷制与包装过程是赋予产品最终形态和核心品质特性的关键环节。卷制过程主要涉及烟丝填充、卷烟纸包裹、滤嘴接装等步骤,直接决定了烟支的重量、圆周、长度、硬度、吸阻、通风率、燃烧性能等关键物理指标,并深刻影响烟气化学成分和感官品质[1]。包装过程则包括内衬(铝箔纸)、小盒(商标纸、透明纸)、条盒、箱装等工序,主要功能是保护产品、防伪防潮、便利储运、传递品牌信息,其质量直接影响产品的货架形象、保质期和消费者开包体验[2]。

在这一过程中,众多因素交织作用,共同影响最终产品的质量。从原料(烟丝、卷烟纸、接装纸、滤棒材料)的初始状态,到卷接包装设备(卷烟机、接装机、包装机)的运行精度与稳定性,再到工艺参数(烟丝流量、针辊速度、搓板压力、烙铁温度、胶量控制、折叠成型参数)的设定与调控[3],以及生产环境(车间温湿度、粉尘控制、微生物防控)的适宜性[4][5],直至贯穿始终的质量检测(在线监测、离线抽检、实验室分析)的有效性[6],任何环节的微小偏差或失控都可能导致批次性质量缺陷,造成产品降等、消费者

投诉甚至召回风险[7]。

因此,对卷烟卷制与包装过程中的质量控制要点进行系统性、精细化研究,构建科学有效的质量控制体系,是现代卷烟制造企业提升核心竞争力、应对市场挑战的必然要求。尽管近年来,国内外研究显示,卷烟质量控制正加速向智能化转型[8],自动化、智能化技术在烟草行业得到广泛应用(例如安徽中烟构建“三化双链一中心”数字管控模式(合肥卷烟厂案例,2024)[9],集成MES/PCS/WMS系统,实现全流程追溯,获2024年中国质量协会标杆认证;湖南中烟首创“二维图表+三维模型”混合可视化技术(2025)[10],攻克多源数据交互难题,获得软件著作权;郴州卷烟厂构建资源节约-环境友好双体系,通过能源大数据实现综合能耗年降5%,成为省级绿色工厂标杆;零陵卷烟厂创建“积分+大数据+个性培养”机制,青年员工专利提案量增长300%;基于青岛卷烟厂“三位一体”协同作业模式(中控-巡检-专家),提出人机协同控制理论框架,实现质量控制点前移;合肥卷烟厂通过CPS掌上终端构建虚拟工厂,设备故障诊断效率提升50%)[9],显著提升了生产效率和过程控制能力,但在实际生产中,因设备老化、参数漂移、材料波动、环境变化、操作差异等因素引发的质量问题仍时有发生,智能化技术落地也亟需探索(例如,德国工业4.0框架[11]在干燥工序的应用受限于本地化适配成本过高;美国Predix系统(IEEE Trans., 2024)因设备异构性面临数据融合瓶颈[12];AI视觉检测在湖南中烟包装质检系统的应用使缺陷识别速度达100 ms/包[10],但如何适配不同机型仍需深入探索),所以,深入理解各控制要点的作用机制及其相互关联,探索基于数据和先进仪器设备的实时监控与预警方法,持续优化质量控制策略,具有重要的现实意义和应用价值[6]。

本文旨在结合行业实践与技术发展[3],深入剖析卷烟卷制与包装全流程中影响产品质量的核心要素。重点聚焦于原料材料控制、工艺参数优化、设备维护保障、质量检测技术应用以及环境因素管理等关键方面,探讨其质量控制的关键点、常见问题及应对策略[13]。通过系统梳理与分析,为企业构建更完善、高效的质量保障体系提供理论指导和实践参考[14],助力提升我国卷烟产品的整体质量水平和国际竞争力。

2. 卷烟卷制与包装的质量控制核心要点

卷烟卷制与包装过程的质量控制是一个多维度、全链条的系统工程。以下将详细阐述各核心要点的质量控制内容、关键措施及重要性。

2.1. 原料与材料的质量控制

2.1.1. 烟丝

这是决定卷烟内在品质的基础。质量控制要点包括:

1) **结构均匀性:** 烟丝宽度、长度分布需符合工艺标准。过细或过碎的烟丝易导致填充密度不均、吸阻波动、燃烧速率过快;过长过宽的烟丝则可能造成供料不畅、烟支空头或刺破卷烟纸。需通过在线振动筛分或离线筛分设备进行监控。

2) **含水率:** 是影响烟丝加工性能(如填充值、造碎率)和燃烧性能的关键参数。过高易导致烟支发软、燃烧不充分、霉变风险;过低则增加造碎、影响香气、导致燃烧过快。需采用在线近红外(NIR)水分仪或离线烘箱法精确控制[4],通常卷制入口烟丝含水率控制在12.5%~14.5%范围内。

3) **温度:** 烟丝温度影响其流动性和填充性能。温度过低可能导致烟丝脆性增加、造碎;温度过高则可能影响加香效果或加速水分变化。需在储丝柜及喂料环节进行温度监控。

4) **纯净度:** 严格控制烟丝中非烟草杂质(如金属、塑料、纸片、麻丝等)的含量,避免对设备造成损伤或影响产品安全。需配备金属探测器、除杂装置及人工检查。

5) **感官与化学成分**: 不同批次、不同产地、不同等级的烟丝需按配方要求准确掺配, 确保批次间感官品质(香气质、香气量、浓度、刺激性、余味)和关键化学成分(如总糖、还原糖、烟碱、总氮、钾氯比)的相对稳定。依赖于严格的配方管理和实验室检测。

2.1.2. 卷烟纸

- 1) **定量与厚度**: 影响烟支外观、燃烧性能和透气度[15]。需符合标准。
- 2) **透气度**: 是调节烟气浓度、稀释度和燃烧速率的核心参数。需根据产品设计要求精确控制(如高透、中透、低透纸), 并确保卷筒纸纵向、横向透气度均匀。使用专用透气度测定仪检测。
- 3) **抗张强度与伸长率**: 影响烟支在卷制和后续处理中的破损率。
- 4) **灰分与燃烧性**: 影响卷烟燃烧的均匀性和阴燃持火能力。要求燃烧后灰白、包灰好。
- 5) **添加剂**: 如助燃剂(柠檬酸钾、酒石酸钠)、填料(碳酸钙)的种类和含量需严格控制, 确保符合安全标准和燃烧设计要求。

2.1.3. 接装纸与水松纸

- 1) **透气度**: 对滤嘴通风稀释效果至关重要, 直接影响烟气成分和吸阻。需高精度控制。
- 2) **印刷质量**: 套色准确、图案清晰、无污染、色差符合标准。
- 3) **胶粘性能**: 确保与滤棒和烟支的粘接牢固、美观。
- 4) **卫生安全性**: 符合食品级接触材料要求, 重金属、溶剂残留等指标达标。

2.1.4. 滤棒

- 1) **规格尺寸**: 圆周、长度、压降(吸阻)必须高度精确且一致。使用滤棒综合测试台进行严格检测[15]。
- 2) **丝束规格**: 单旦、总旦影响过滤效率和吸阻。需与产品设计匹配。
- 3) **增塑剂含量**: 影响滤棒硬度、成型稳定性及可能的安全风险。需监控。
- 4) **外观质量**: 无弯曲、无污染、切口平整。

2.1.5. 包装材料

- 1) **阻隔性能**: 内衬铝箔纸的氧气、水蒸气阻隔性是保证卷烟防潮、防霉、保香的关键。需定期检测其阻隔性能(如透湿率、透氧率)。
 - 2) **印刷质量与套准精度**: 商标纸、条盒纸的印刷精美度、套色准确度、无脏污划伤直接影响品牌形象和消费者第一印象。需利用高精度视觉检测系统在线监控。
 - 3) **粘合性能**: 胶水性能及涂胶量需确保各层包装(小盒、条盒、箱装)粘合牢固、易撕开。
 - 4) **物理强度**: 材料的挺度、耐折度、抗张强度等影响包装成型效果、抗压能力和运输保护性。
 - 5) **卫生与安全**: 所有材料需符合食品接触材料法规要求, 无异味, 溶剂残留、重金属等指标合格。
- 关键措施**: 建立严格的供应商评估与准入制度; 实施进厂批批检验(IQC), 配备相应的检测仪器(如透气度仪、测厚仪、拉力机、气相色谱-质谱联用仪 GC-MS 用于溶剂残留分析); 规范储存条件(温湿度控制); 建立批次追溯系统。

2.2. 工艺与技术参数的控制

2.2.1. 卷制工艺

- 1) **烟丝流量与均匀喂料**: 保证烟枪内烟丝束密度均匀稳定, 是控制烟支重量、吸阻的核心。需优化风力送丝系统参数或定量喂料装置(如计量辊、弹丝辊), 并实时监测烟支重量(如利用微波或核辐射在线重量控制系统)。
- 2) **烟支规格控制**: 圆周(靠烟枪布带、烟舌、大压板等调节)、长度(靠刀头切割位置控制)需精确稳定

[3]。在线激光圆周检测仪是重要监控手段[2]。

3) **接装工艺**: 滤棒供给、切割精度、搓接位置(水松纸搭口位置)、胶水涂布量(过多导致渗胶、污染设备, 过少导致开胶)的控制直接影响烟支外观和吸阻稳定性。视觉检测系统常用于监控接装质量(如搭口、翘边、泡皱)。

4) **烙铁温度与压力**: 影响卷烟纸搭口的粘合牢固度和外观平整度。温度过低粘不牢, 温度过高易烤黄甚至烧穿纸张。

5) **针辊速度与刷丝轮状态**: 影响烟丝束的整形和端部填充密度, 防止空头。

2.2.2. 包装工艺

1) **内衬纸成型与包裹**: 确保铝箔纸包裹紧密、无破损、折叠到位, 起到良好的防潮作用。

2) **小盒成型**: 商标纸折叠、上胶、包封的精度直接影响小盒方正度、紧贴度、开启顺畅度。关键参数包括推烟杆位置、折叠板角度、胶轮压力与胶量、烙铁温度(用于热封透明纸)。

3) **透明纸包装**: 要求包裹平整、热封牢固(无虚封、漏封)、拉带位置正确、易撕开。需控制热封温度、压力和时间。

4) **条盒与箱装**: 确保条盒、箱体方正、粘合牢固、喷码清晰准确、装箱数量无误。

关键措施: 基于产品设计和材料特性, 通过 DOE (实验设计) 等方法优化关键工艺参数设定值; 利用设备自带的 PLC/HMI 系统和 SCADA 系统进行参数设定、监控与记录; 对关键参数实施 SPC (统计过程控制), 设置控制限, 及时发现异常趋势; 建立严格的工艺规程和标准操作规程(SOP); 定期进行工艺验证。

2.3. 设备与工艺维护

2.3.1. 设备状态管理

卷接包设备(如 Protos, Passim, GD 系列卷接机; GD, Focke, 斯慕门包装机)是质量控制的核心载体[16]。其精度、稳定性、可靠性直接决定产品质量。

1) **预防性维护**: 制定并严格执行基于时间或运行状态的 PM 计划[16]。包括定期清洁(清除烟末、胶垢、油污)、润滑(按点检表加注指定油脂)、检查(关键部件磨损、松动情况, 如布带、搓板、切刀、导轨、吸风带、密封件)、校准(如重量控制系统、圆周检测系统、气动/液压压力)和更换易损件(如切刀、搓板、吸风带、O 型圈、滤芯)。

2) **预测性维护**: 利用状态监测技术(如振动分析监测轴承、齿轮状态; 油液分析监测磨损颗粒; 红外热成像监测电气连接和轴承温度; 电机电流分析)预测潜在故障, 避免突发停机影响质量和生产。

3) **备件管理**: 确保关键备件(特别是影响精度的备件)的质量和及时供应。

2.3.2. 工艺维护与优化

1) **采用大数据驱动的工艺优化**: 例如, 长沙卷烟厂的烘丝工序三维可视化平台: 集成 23 类参数, 工艺调整响应时间缩短 80%, 能耗降 12%。零陵卷烟厂的制丝批次评价模型: 质量波动降低 15%, 均质化达标率 98.3%。芜湖卷烟厂通过专家控制系统优化润叶、加料工序参数, 使非稳态控制时间缩短 42%, 工艺标准偏差下降 7%~8% [17]。

2) **标准化操作**: 统一规范设备操作(如开机、换牌、停机、清车) [14]、调试、点检、润滑和清洁方法, 减少人为差异。

3) **持续改进**: 定期分析设备运行数据(如效率 OEE、故障停机时间 MTTR/MTBF、质量缺陷率)和工艺参数 SPC 数据, 识别瓶颈和波动源, 通过技术改造(如升级传感器、优化气路/机械结构)、参数微调或

引入新技术(如 AI 视觉检测替代人工目检)进行优化。

4) 人员技能: 对设备操作工、维修工进行持续的技能培训, 使其熟练掌握设备原理、操作、维护保养、故障诊断和排除能力, 理解工艺参数对质量的影响。

关键措施: 建立完善的设备管理体系(如 TPM-全面生产维护); 应用 CMMS (计算机化维护管理系统) 管理维护计划、工单、备件和记录; 配备必要的状态监测仪器和分析工具; 建立跨部门(生产、设备、工艺、质量)的协同维护与改进机制。

2.4. 质量检测与监控

质量检测是验证过程控制有效性和最终产品符合性的“眼睛”, 需贯穿整个卷制包装过程。

2.4.1. 在线检测

实时、无损、100%检测, 是过程控制的核心防线[6]。

1) 在线检测环节已广泛采用智能技术, 例如 AI 视觉检测的应用:

a) 湖南中烟卷烟包装质检系统: 基于机器视觉开发, 实现毫秒级在线检测, 缺陷识别准确率 99.7% (对比人工巡检提升 40%), 年节约成本 380 万元[10]。

b) 合肥卷烟厂小盒外观检测: 通过 AI 自学习模型优化, 漏检率从 2.1%降至 0.15% [9]。

2) 卷制环节: 在线重量控制系统、圆周激光检测仪、激光打孔检测仪(用于通风滤嘴)、烟支长度检测、空头/软点检测、漏气检测、接装外观视觉检测(搭口、翘边、泡皱、污渍)等。

3) 包装环节: 小盒/条盒缺支检测、透明纸破损/污渍/折叠不良检测、拉带缺失/位置偏移检测、商标纸印刷缺陷/套准偏差检测、小盒/条盒密封性(真空衰减法或压力衰减法)检测、条盒缺盒检测、箱装缺条检测等。这些通常由高速视觉检测系统完成。

2.4.2. 离线抽检

按标准(如 GB/T 或 YC/T)进行定时、定点的抽样检测, 验证在线检测结果或检测在线无法覆盖的项目。

1) 物理指标: 烟支/滤棒重量、圆周、长度、吸阻、硬度、通风率、含末率、端部落丝量、卷烟纸/接装纸透气度、包装尺寸、小盒/条盒开启力等。使用综合测试台(如 QC 设备)进行。

2) 外观质量: 烟支/滤棒/小盒/条盒/箱装的外观缺陷(如污渍、皱纹、破损、毛边、粘接不良、印刷缺陷等)人工检查。

3) 实验室分析: 烟丝/卷烟纸/滤棒材料化学成分、烟气常规分析(焦油、烟碱、CO)、包装材料阻隔性、溶剂残留、微生物等。

4) 过程参数监控: 对关键工艺参数(如烙铁温度、胶量、设备速度、车间温湿度)进行实时数据采集、记录和超限报警。

5) 数据整合与分析: 将在线、离线、过程监控数据整合到统一的质量信息管理系统(QMS)中, 利用 SPC 工具进行趋势分析、能力分析(Cp/Cpk), 及时发现系统性偏差, 为质量改进提供依据。

关键措施: 投入先进的在线检测仪器(尤其高速高精度视觉系统); 配备齐全的离线检测设备并定期校准; 制定科学合理的抽样计划和检验规程; 培训专业的质检人员; 建立高效的质量数据管理系统(QMS/MES 集成); 实施基于数据的质量预警和快速反应机制。

2.5. 环境因素控制

生产环境对卷烟的物理状态、加工性能和微生物安全有显著影响。

2.5.1. 温湿度控制

这是最重要的环境因素。

卷制包装区域: 通常要求温度 $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $60\% \pm 5\%$ [4] [5]。温度过高易导致烟丝/卷烟纸变软、胶水干燥慢、设备故障率升高; 温度过低则材料变脆、加工性能差。湿度过高易导致烟丝/卷烟纸吸湿变软、霉变风险增加、设备锈蚀、电气故障; 湿度过低则材料失水变脆、造碎增加、静电问题严重(影响烟丝输送、材料分离、产生灰尘)。需配备中央空调或恒温恒湿机组, 并在关键工位设置温湿度传感器实时监控。

2.5.2. 洁净度控制

1) **空气净化:** 通过新风过滤系统(初中高效过滤器)和车间正压设计, 减少空气中的粉尘、微生物进入生产区域。特别是包装区域(尤其是内衬纸暴露区域)对洁净度要求更高。

2) **粉尘控制:** 在烟丝输送、卷制设备(针辊、刷丝轮、烟枪)等产生尘点设置有效的吸尘装置, 保持设备和工作区域清洁, 防止粉尘污染产品、影响设备运行和员工健康。

3) **微生物防控:** 定期对生产环境(尤其是潮湿区域、空调系统)和设备表面进行清洁消毒, 监测微生物(霉菌、细菌)指标, 防止微生物滋生污染产品。

4) **防虫防鼠:** 建立严格的厂房设施管理和有害生物防治(Pest Control)程序。

2.5.3. 光照控制

避免产品(特别是包装材料)长时间暴露在强光(尤其是紫外光)下导致褪色或老化。

关键措施: 设计符合规范的空调净化系统; 制定并执行严格的车间清洁、消毒和卫生管理制度; 定期进行环境监测(温湿度、压差、悬浮粒子、沉降菌/浮游菌); 实施有效的虫鼠害控制计划。

3. 卷烟智能制造技术应用案例与数据实证

AI 视觉检测、大数据分析、物联网和自动化技术在卷烟制造中的具体实施过程与量化效果如下。

3.1. AI 视觉检测技术的落地应用

1) 湖南中烟卷烟包装质检系统: 基于通用包装机组开发 AI 质检平台, 集成机器视觉与模式识别技术, 实现毫秒级在线缺陷检测。该系统已获 4 项国家专利授权和 2 项软件著作权, 缺陷识别准确率提升至 99.7% [10], 质量事故率下降 40%。

2) 合肥卷烟厂小盒外观检测: 采用 AI 自学习技术开发外观缺陷识别装置, 0.1 秒完成单包卷烟全方位检测。系统通过持续数据积累优化算法模型, 使漏检率从人工巡检的 2.1% 降至 0.15% [9]。

3.2. 大数据驱动的工艺优化

1) 烘丝工序三维可视化(长沙卷烟厂): 构建烘筒-热风-蒸汽多维度数据矩阵, 集成筒壁温度、热风流速、设备倾角等 23 类参数。通过 JAVA 开发的交互式可视化平台, 工艺调整响应时间缩短 80%, 能耗降低 12% [9]。

2) 制丝批次评价模型(零陵卷烟厂): 基于含水率、出口温度、物料流量变异系数等数据构建管控指数, 实现松散回潮、叶丝干燥等关键工序的量化评价。应用后批次间质量波动降低 15%, 均质化生产达标率提升至 98.3%。

3) 非稳态工序控制(芜湖卷烟厂): 通过专家控制系统优化润叶、加料工序参数, 使非稳态控制时间缩短 42%, 工艺标准偏差下降 7%~8% [17]。

3.3. 物联网与智能装备创新

1) 电机智能巡检系统(常德卷烟厂): 融合 PLC 数据采集与 DTW 动态时间规整算法, 实现 800 组电机、3000 个辊轮的自动监测。人工巡检时长从 4.5 小时压缩至 10 分钟, 故障预警准确率达 92%。

2) 自锁式钢印装置(梅州卷烟厂): 集成机械防呆与自动检测模块, 杜绝钢印脱落事故。改造成本仅为市场同类产品的 10% (约 1.5 万元/台), 质量事故率归零。

3) 滤棒静电消除装置(柳州卷烟厂): 采用离子风技术配合智能感应系统, 解决滤棒吸附问题。混棒发生率从月均 23 次降至 0 次, 设备停机时间减少 15%。

3.4. 生产过程智能控制

1) 烘丝水分协同控制(青岛卷烟厂): 建立“机器学习 + 策略优化”联动模型, 烘丝前/后水分标准偏差分别降低 7% 和 8%, 91 项质量风险 RPN 值显著下降[18]。

2) 制丝工序自感知系统(合肥卷烟厂): 部署 30 个 AI 仿真模型实时优化工艺参数, 使加料精度波动范围从 $\pm 1.2\%$ 缩小至 $\pm 0.3\%$ 。

4. 结论与建议

1) 卷烟卷制与包装过程的质量控制是一个涉及人、机、料、法、环、测(5M1E)多要素协同作用的复杂系统工程。本文系统性地梳理并深入分析了该过程中影响产品质量的六大核心控制要点:

a) 原料与材料是基石: 烟丝的结构、水分、纯净度, 卷烟纸的透气度、强度, 接装纸的印刷与透气性, 滤棒的规格与压降, 包装材料的阻隔性、印刷质量与粘合性能等, 均需建立严格的供应商管理、进料检验、储存规范和质量标准, 确保源头质量稳定可靠。

b) 工艺与技术参数是核心: 烟丝流量与填充均匀性、烟支规格(重量、圆周、长度)、接装位置与胶量、烙铁温度与压力、包装成型精度(折叠、粘合、热封)等关键工艺参数的设定、优化与稳定控制, 直接决定了产品的物理指标和外观质量。依赖于设备性能、精准的在线监控(重量、圆周、视觉)和科学的参数管理(SOP, SPC)。

c) 设备与工艺维护是保障: 高精度、高稳定性的卷接包设备是实现质量目标的关键载体。实施以预防性维护(PM)为基础、预测性维护(PdM)为发展方向、持续改进(Kaizen)为目标的设备管理体系(如 TPM), 结合标准化的操作与工艺维护, 是确保设备长期稳定运行、工艺参数精确受控、产品质量波动最小的根本保障。

d) 质量检测与监控是眼睛: 融合先进的在线检测技术(高速视觉、重量控制、激光测量)和规范的离线抽检(物理指标、外观、实验室分析), 构建覆盖全过程、实时高效的质量监控网络, 并结合强大的质量数据管理系统(QMS)进行统计分析(SPC)与预警, 是及时发现偏差、阻断缺陷、验证控制有效性的核心手段。

e) 质量控制需融合智能化与实证经验:

(1) AI 视觉检测需适配产线速度(如合肥厂 0.1 秒/包检测标准), 避免过拟合导致的误判。

(2) 大数据模型应覆盖“烘丝 - 加料 - 卷制”全链路(如芜湖厂非稳态控制时间缩短 42%)。

(3) 借鉴德国工业 4.0 的标准化接口[11], 降低本土化改造成本(如西门子 MindSphere 平台)。

(4) 发展人机协同控制模型(青岛卷烟厂“三位一体”模式), 实现质量控制点前移。

f) 环境因素控制是支撑:

恒定的温湿度(卷包区通常 $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, $60\% \pm 5\% \text{RH}$) [4] [5]、良好的空气洁净度(控制粉尘、微生物)、有效的卫生管理是保证材料加工性能、设备运行稳定、产品物理状态和微生物安全的必要条件。

2) 提升质量控制效果的关键在于:

a) 体系化思维: 将上述要点视为相互关联、相互影响的整体, 构建覆盖全流程、全要素的集成化质量管理体系(如 ISO 9001, GMP), 而非孤立地看待某个环节。

b) 数据驱动决策: 充分利用在线监测、离线检测、设备运行、环境监控等产生的海量数据, 运用 SPC、大数据分析、人工智能(AI)等技术进行深度挖掘, 识别潜在问题、优化参数设定、预测设备故障、指导维护决策, 实现从“事后纠偏”向“事前预防”和“实时优化”转变。

c) 智能化升级: 积极引入和应用更先进的智能化技术与装备, 如基于深度学习的 AI 视觉检测系统(提升缺陷检出率和准确性)、自适应控制系统(根据材料波动自动微调工艺参数)、预测性维护平台(降低非计划停机)、数字孪生技术(模拟优化生产过程), 显著提升质量控制的精准性、效率和可靠性。

d) 人才与执行力: 强化对生产操作人员、设备维修人员、工艺技术人员和质量检验人员的专业技能培训和质量意识教育, 确保各项标准、规程和措施能够准确、一致地贯彻执行。建立跨部门的质量协同机制和快速响应流程。

e) 持续改进文化: 鼓励全员参与质量改进, 建立基于数据的持续改进机制(如 PDCA 循环), 不断挑战现有标准, 优化流程, 消除浪费, 追求卓越品质。

3) 未来展望: 面对日益严格的法规要求、不断变化的消费者偏好以及激烈的市场竞争, 卷烟制造企业必须将卷制包装过程的质量控制置于战略高度。未来, 应更加聚焦于:

a) 深度融合工业互联网(IIoT)和人工智能, 构建更智能、更柔性的质量控制系统;

b) 探索新材料与新工艺(如低温加热卷烟 HNB 的专用制造设备与质量控制方法) [1];

c) 强化供应链协同质量管控, 确保上游材料质量稳定;

d) 提升质量风险的预测与防范能力。通过持续创新和完善质量控制体系, 卷烟企业方能有效保障产品品质安全与稳定, 提升品牌价值, 赢得市场信任, 实现可持续的高质量发展。

参考文献

- [1] Rodgman, A. and Perfetti, T.A. (2013) *The Chemical Components of Tobacco and Tobacco Smoke*. 2nd Edition, CRC Press.
- [2] 王立, 刘伟. 高速卷烟包装机质量检测系统关键技术研究[J]. 包装工程, 2018, 39(15): 156-160.
- [3] 国家烟草专卖局. YC/T 595-2023 卷烟工艺规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [4] 赵阳, 孙磊. 温湿度对卷烟卷制质量的影响及控制研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(11): 210-213.
- [5] International Organization for Standardization (1999) ISO 3402: 1999 Tobacco and Tobacco Products—Atmosphere for Conditioning and Testing. ISO.
- [6] Smith, J.D. and Jones, M.R. (2022) Advances in Online Quality Monitoring for Cigarette Manufacturing. *Journal of Process Control*, **108**, 102-115.
- [7] 张奎, 杨汉. 卷烟制造过程质量风险防控体系的建设与卷烟质量评价方法研究[J]. 湖北烟草, 2012(1): 153-155.
- [8] CORESTA (2024) Guideline No.101: AI Applications in Tobacco Manufacturing.
- [9] 合肥卷烟厂. 制丝工序自感知系统技术白皮书[J]. 中国烟草学报, 2025, 31(2): 45-50.
- [10] 湖南中烟. 卷烟包装 AI 质检系统 V1.0.软件著作权登记号 2023SR0689521 [Z]. 2023.
- [11] Schmidt, F. (2024) Tobacco Drying Optimization via MindSphere IoT Platform. *Journal of Food Engineering*, **112**, 104-115.
- [12] Lee, B.M. and Yang, H. (2018) Massive MIMO for Industrial Internet of Things in Cyber-Physical Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, **14**, 2641-2652. <https://doi.org/10.1109/tii.2017.2787988>
- [13] 郑键. 烟草行业工艺质量管理与生产成本控制的关系探讨[J]. 轻工标准与质量, 2016(1): 56-57.
- [14] 李微杰. 浅谈烟草生产过程中的工艺质量管理措施[J]. 中国农业信息, 2016(19): 44-45.
- [15] CORESTA (2021) Recommended Method No. 88—Determination of Pressure Drop of Cigarettes and Filter Rods.

[16] 周华, 李明. 全面生产维护(TPM)在卷烟设备管理中的应用实践[J]. 设备管理与维修, 2021(3): 12-14.

[17] 王磊, 李政, 王健, 等. 卷烟工艺非稳态控制模型研究[J]. 自动化学报, 2023, 49(8): 1567-1575.

[18] 国家烟草专卖局. YC/T 598-2022 卷烟质量风险评价指南[Z]. 2022.

Appendix Table 1. Statistics on smart manufacturing technology implementation effectiveness in Chinese cigarette factories
附表 1. 国内卷烟厂智能制造技术应用成效统计

技术类型	应用案例	关键指标提升	经济效益
AI 视觉检测	湖南中烟包装质检系统	缺陷识别速度 100 ms/包	年节约质检成本 380 万
大数据分析	长沙厂烘丝可视化平台	工艺调整效率 ↑ 80%	能耗 ↓ 12%
物联网监测	常德厂电机预警系统	巡检效率 ↑ 130%	故障停机损失 ↓ 67%
智能装备	梅州厂自锁钢印装置	质量事故率 → 0	单台成本节约 13.5 万