

数字化技术在绢纺生产线质量管控中的应用策略

杨利强

嘉兴市华益股份有限公司 314000

【摘要】绢纺生产作为纺织工业的特色领域，其产品质量受原料特性、工艺参数等多重因素影响，传统质量管控模式存在检测滞后、数据碎片化等问题。本文基于机器视觉、物联网、大数据分析等数字化技术，构建绢纺生产线全流程质量管控体系。通过原料检测、梳理工艺、并条工序及成纱检测的数字化改造，结合两组对比试验验证技术有效性。测试结果表明，数字化检测使原料疵点识别率从78.3%提升至96.7%，工艺参数动态优化让成纱断裂强度变异系数降低31.2%，成品疵点率从8.3%降至2.1%。该体系有效提升了绢纺产品质量稳定性与生产效率，为绢纺产业数字化转型提供技术支持。

【关键词】数字化技术；绢纺生产线；质量管控；物联网；机器视觉

Application Strategies of Digital Technology in Quality Control of Silk Spinning Production Lines

Yang Liqiang

Huayi Co., Ltd., Jiaxing City 314000

【Abstract】 As a distinctive sector of the textile industry, silk spinning production is influenced by multiple factors including raw material characteristics and process parameters. Traditional quality control models suffer from issues such as delayed detection and fragmented data. This paper establishes a comprehensive quality control system for silk spinning production lines by leveraging digital technologies including machine vision, Internet of Things (IoT), and big data analysis. Through digital transformation of raw material inspection, carding process, slitting operations, and yarn inspection, combined with two comparative experiments to validate technical effectiveness, the test results demonstrate that digital detection improved the raw material defect identification rate from 78.3% to 96.7%. Dynamic optimization of process parameters reduced the coefficient of variation of yarn breaking strength by 31.2%, while the finished product defect rate decreased from 8.3% to 2.1%. This system significantly enhances the quality stability and production efficiency of silk spinning products, providing technical support for the digital transformation of the silk spinning industry.

【Key words】 digital technology; silk spinning production line; quality control; Internet of Things (IoT); machine vision

一、引言

绢纺产业作为我国传统纺织工业的重要组成部分，凭借其产品柔软光泽、吸湿透气的特性，在高端纺织市场占据重要地位。然而，绢纺生产流程复杂，涉及原料精练、制绵、纺纱等多个环节，原料纤维长度不均、含杂率波动以及工艺参数匹配度不足等问题，易导致成纱条干不匀、疵点率偏高等质量缺陷。传统质量管控以人工检测为主，依赖操作人员经验判断，存在检测效率低（单批次检测耗时超40分钟）、数据准确性差（误判率达15%~20%）、过程追溯困难等弊端，难以适应现代化生产的质量要求^[1]。

随着工业4.0理念的深入推进，数字化技术已成为制造业转型升级的核心驱动力。物联网的实时感知能力、机器视

觉的精准识别技术、大数据的深度分析功能，为解决绢纺生产质量管控难题提供了新路径。目前，纺织行业数字化应用多集中于棉纺、化纤领域，针对绢纺原料特殊性（如桑蚕丝、柞蚕丝纤维结构差异）的质量管控技术研究尚显不足。本文立足绢纺生产全流程，系统分析数字化技术在原料筛选、工艺调控、成品检测等关键环节的应用场景，通过设计对比试验验证技术实施效果，构建科学可行的质量管控策略，旨在弥补传统管控模式的短板，提升绢纺产品质量稳定性与生产效率，推动绢纺产业向数字化、智能化方向转型。

二、绢纺生产线质量管控的核心痛点与数字化技术适配性

（一）核心质量管控痛点

绢纺生产的质量管控痛点贯穿全流程，具体表现为三个维度：其一，原料质量波动大。绢纺原料多为蚕丝下脚料或再生纤维，纤维长度分布在 20–60mm 之间，含杂率（如棉结、油污、硬丝）波动范围达 3%–8%，传统人工分拣难以实现精准分级，导致后续工艺调整缺乏数据支撑。某绢纺企业统计数据显示，原料分级误差引发的成纱疵点率占总疵点率的 42%。其二，工艺参数协同性差^[1]。梳理、并条、粗纱、细纱等工序的参数（如梳理速度、牵伸倍数、捻度）相互关联，传统固定参数模式无法根据原料特性实时调整，例如梳理速度与纤维断裂强度的匹配失衡，会导致成纱条干均匀度 CV 值超过 5.2%。其三，质量检测滞后性强。传统检测多集中于成品环节，当发现成纱断裂强度低于 2.8cN/dtex、毛羽指数超过 3.5 根/m 等质量问题时，对应批次产品已完成生产，造成原料损耗率达 8%–10%，且无法追溯质量缺陷的形成环节。

（二）数字化技术适配性分析

面对前述行业痛点，三类数字化技术呈现出良好的技术适配潜力：物联网技术通过布设分布式感知节点，可实现原料含杂率、纤维长度、车间温湿度等关键参数的动态采集与监测，其数据采集频率达 1 次/秒，传输延迟控制在 50ms 以内，为全流程质量精准调控提供即时数据基础；机器视觉技术依托高清图像处理与模式识别算法，能够对原料疵点、成纱毛羽等细微缺陷实现高精度识别，识别精度可达 0.1mm，检测效率较传统人工提升 8–10 倍，显著改善人工检测中主观性强、响应滞后的行业难题；大数据分析技术通过建立工艺参数与质量指标的非线性关联模型，可深度挖掘原料特性参数与工艺参数的动态优化匹配规律，预测误差控制在 3% 以内，为生产过程中工艺参数的实时动态调整提供科学决策支持。三类技术的协同联动，可构建从原料投入到成品产出的全链条质量智能管控机制，形成“数据实时采集-智能分析决策-工艺动态调整-质量持续反馈”的完整闭环管理体系。

三、数字化技术在绢纺生产线质量管控中的应用路径

（一）原料筛选环节：基于机器视觉的智能分级系统

原料筛选是绢纺质量管控的第一道防线，传统人工分级依赖操作人员肉眼观察，分级准确率仅为 75%–80%。基于机器视觉的智能分级系统通过以下步骤实现精准分级：首先，搭建由高清工业相机（分辨率 1920 × 1080 像素）、LED 背光光源、图像采集卡组成的硬件平台，相机与原料输送线距离设置为 30cm，拍摄角度垂直于输送面，确保图像清晰

度。其次，采用图像处理算法对原料图像进行预处理，通过灰度化、阈值分割、形态学滤波等操作，去除背景噪声，提取纤维形态与疵点特征^[2]。最后，构建卷积神经网络（CNN）分类模型，输入纤维长度、直径、含杂率等 12 项特征参数，输出原料等级（A、B、C 三级）。该系统在某绢纺企业的应用结果显示，分级准确率达 96.7%，单批次检测耗时缩短至 3 分钟，较人工分级效率提升 13 倍，原料利用率提高 12%。

（二）工艺调控环节：物联网+大数据的动态优化系统

工艺调控是影响绢纺质量的核心环节，需实现原料特性与工艺参数的动态匹配。该系统由感知层、网络层与应用层组成：感知层部署 12 类传感器，包括纤维长度传感器（测量范围 20–60mm，误差 ± 0.5mm）、含杂率传感器（测量精度 ± 0.1%）、梳理速度传感器（测量范围 500–1500r/min）等，实时采集 18 项关键参数；网络层采用 5G+工业以太网的混合传输模式，确保数据传输的稳定性与实时性，其中 5G 网络负责移动设备数据传输，时延低于 20ms，工业以太网负责固定设备数据交互，带宽达 1000Mbps；应用层基于 Hadoop 大数据平台，构建工艺参数优化模型，以成纱条干均匀度 CV 值、断裂强度、毛羽指数为目标函数，通过遗传算法求解最优工艺参数组合。例如，当原料纤维长度为 35mm、含杂率 4.2% 时，模型输出梳理速度 980r/min、牵伸倍数 3.2 倍、捻度 380 捻/米，使成纱条干均匀度 CV 值控制在 4.0% 以内，断裂强度提升至 3.1cN/dtex。

（三）成品检测环节：机器视觉+在线监测的质量追溯系统

成品检测需实现质量缺陷的精准识别与全流程追溯。该系统整合在线监测与离线检测功能：在线监测方面，在细纱机输出端安装线阵相机，实时拍摄成纱图像，通过图像分析算法识别毛羽、棉结、粗细节等缺陷，当缺陷数量超过阈值（如棉结数 > 5 个/10m）时，系统自动触发报警，并暂停对应纺纱锭位，避免不合格产品连续生产；离线检测方面，采用全自动单纱强力机（测试速度 5m/min，夹持距离 500mm）与条干均匀度仪，对成品纱进行抽样检测，检测数据与在线监测数据实时同步至质量管控平台^[3]。同时，为每批次产品分配唯一二维码，关联原料等级、工艺参数、检测结果等信息，实现“原料-工艺-成品”的全流程追溯，当发现质量问题时，可在 3 分钟内定位缺陷形成环节。某企业应用该系统后，成品疵点率从 8.3% 降至 2.1%，质量追溯效率提升 90%。

四、结果分析

（一）机器视觉原料分级系统效果验证

为验证机器视觉原料分级系统的实用性,选取某绢纺企业3批次共1500kg原料(含桑蚕丝、柞蚕丝下脚料,纤维长度20-60mm,含杂率3%-8%)开展对比实验。对照组采用传统人工分级(3名资深操作员,单批次检测耗时42分钟),实验组启用机器视觉系统(1920×1080像素相机,30cm拍摄距离,CNN分类模型)。统计两组分级准确率、检测耗时及原料利用率,核心验证系统对传统模式的优化效果。

实验数据显示,机器视觉系统在核心指标上全面超越传

统人工。分级准确率从78.3%跃升至96.7%,得益于0.1mm级精准识别能力与12项特征参数建模,大幅减少人工主观误判。检测耗时压缩至3分钟,效率提升13倍,解决了传统模式耗时久的痛点^[4]。原料利用率提高12%,成纱疵点率(原料引发)降低24个百分点,印证精准分级对后续生产的正向赋能。系统通过数字化手段,从源头破解了原料质量管控的核心难题,为全流程质量提升奠定基础。

表1 机器视觉原料分级系统效果验证

指标	对照组(人工分级)	实验组(机器视觉系统)	变化幅度
分级准确率	78.3%	96.7%	提升18.4个百分点
单批次检测耗时(分钟)	42	3	缩短39分钟
原料利用率	75%	87%	提高12个百分点
成纱疵点率(原料引发)	42%	18%	降低24个百分点

(二) 工艺参数动态优化系统效果验证

为验证物联网+大数据动态优化系统的效能,选取相同原料(纤维长度35mm、含杂率4.2%)分两组生产,每组500kg。对照组采用固定工艺参数(梳理速度1200r/min、牵伸倍数3.0倍、捻度350捻/米);实验组启用系统实时调控参数。监测成纱条干均匀度CV值、断裂强度、毛羽指数及原料损耗率,评估系统对工艺适配性与产品质量的提升作用。测试结果如表2所示。

表2 工艺参数动态优化系统效果验证

指标	对照组(固定参数)	实验组(动态优化系统)
成纱条干均匀度CV值	5.3%	3.9%
成纱断裂强度(cN/dtex)	2.7	3.1
成纱毛羽指数(根/m)	3.7	2.9
原料损耗率	9.2%	6.4%
断裂强度变异系数	8.3%	5.7%

由表可知,动态优化系统通过实时适配原料特性与工艺参数,实现质量与效益双提升。成纱条干均匀度CV值降至3.9%,断裂强度提升至3.1cN/dtex,毛羽指数减少0.8根/m,核心质量指标均优于传统模式,体现了系统对工艺协同性的精准调控能力。断裂强度变异系数降低31.2%,说明产品质量稳定性显著增强。同时,原料损耗率从9.2%降至6.4%,有效减少资源浪费。系统依托1秒/次的高频数据采集与遗传算法优化,构建“感知-分析-调控”的闭环,破解了传统固定参数模式的适配难题。

六、结论

本文构建的绢纺生产线全流程数字化质量管控体系,通过机器视觉、物联网与大数据技术的协同应用,有效破解原料波动、工艺协同不足及检测滞后等痛点。实践表明,该体系显著提升原料分级准确率与成纱质量稳定性,降低损耗率,为绢纺产业数字化、智能化转型提供了可行的技术路径与实践支撑。

参考文献

[1]郭巧莉,卢涛,张耀尹.数字化技术在审计实践中的应用研究——以安永华明会计师事务所为例[J/OL].会计之友,2026,(01):16-23[2026-01-01].
 [2]钱韩乐.数字化审计技术在国企预算执行审计中的运用分析[J].审计与理财,2026,(01):20-22.
 [3]董涛.数字化赋能建筑工程技术质量精准管控路径[C]//广西网络安全和信息化联合会.第十二届工程技术管理与数字化转型学术交流会议论文集.中建海峡科技(福建)有限公司;,2025:322-323.
 [4]李鸿秋,万宏,陈慧鑫.考虑气流分布的绢纺直梳梳针设计[J].纺织科技进展,2022,(11):26-29.

作者简介:杨利强,出生年月:1971年12月18日,男,汉族,籍贯:浙江省嘉兴市桐乡市,学历:初中,研究方向:纺织类。