

棉花产业中纤维检验技术应用

郭庆晨

天津市产品质量监督检测技术研究院纺织纤维检验中心 天津 300192

摘要:棉花作为重要经济作物,其品质直接影响纺织产业发展与国际贸易竞争力,而纤维检验技术是把控棉花品质的核心手段。本文阐述了棉花纤维物理形态、长度、细度等基本特性,明确检验技术应用基础;系统分析了物理特性、化学特性、微观结构及智能化四大类纤维检验关键技术的原理与操作要点;进而探讨检验技术在种植(种子筛选、田间监测)、收购(HVI检测、感官检验)、加工(在线监测、终检)、贸易(公证检验、标准适配)全链条环节的具体应用;最后提出技术普及、设备升级及人才培养等策略。研究为推动棉花产业纤维检验技术规范应用、提升棉花品质提供理论与实践参考。

关键词:棉花产业;纤维检验技术;应用

引言:当前棉花产业面临品种优化难、收购分级不精准、加工损耗大、贸易纠纷多等问题,根源在于纤维检验技术应用不充分、不均衡。本文从棉花纤维基本特性出发,梳理关键检验技术体系,剖析其在产业全链条环节的应用路径,提出技术推广与人才建设策略,旨在填补检验技术与产业实践结合的研究空白,为解决产业痛点、推动棉花产业标准化与现代化发展提供科学支撑。

1 棉花纤维的基本特性

棉花纤维作为棉花产业的核心要素,具有以下多方面独特的基本特性。(1)从物理形态来看,棉花纤维呈细长管状,表面有天然转曲,这一结构使其具有较好的柔韧性和可纺性。转曲的存在增加了纤维之间的抱合力,在纺纱过程中能使纤维相互缠绕,形成较为紧密和均匀的纱线,提升纱线的强度和质量。(2)在长度方面,棉花纤维长度是衡量其品质的重要指标之一。一般而言,纤维长度越长,纺出的纱线越细且均匀,织物的强度和柔软度也更好。不同品种的棉花纤维长度有所差异,长绒棉纤维长度可达33毫米以上,细绒棉纤维长度多在23-33毫米之间。(3)细度上,棉花纤维的细度通常用线密度表示,细度越细,纤维越柔软,织物的手感也越细腻光滑。细度均匀的棉花纤维在纺纱时能减少断头率,提高生产效率和产品质量。(4)强度是棉花纤维抵抗外力破坏的能力。高强度的纤维在加工和使用过程中不易断裂,能保证织物的耐用性。棉花纤维的强度受品种、生长环境等多种因素影响。(5)棉花纤维还具有良好的吸湿性,能吸收空气中的水分,使人体感觉舒适;同时它还具有一定的保暖性,纤维中的中空结构能储存空气,起到隔热保暖的作用^[1]。

2 棉花纤维检验关键技术

2.1 棉花纤维物理特性检验关键技术

棉花纤维物理特性检验以长度、强度、细度及整齐度为核心指标,依托精密仪器定量分析。(1)长度与整齐度检测采用光学投影法与激光扫描技术,将纤维样本均匀排列后投射至光学传感器,通过图像识别算法捕捉端点坐标,计算长度分布区间及变异系数,需控制样本摆放密度与扫描精度以减少纤维重叠干扰。(2)强度检测运用电子式单纤维强力测试技术,以恒定速率拉伸样本,实时采集拉力与伸长量数据并绘制应力-应变曲线,提取断裂强力、断裂伸长率等参数,核心是保证夹持装置均匀施力,避免局部应力集中引发误差。(3)细度检测以气流法为主,利用纤维在气流场中的阻力差异,通过压力传感器转化为电信号,结合纤维体积密度计算马克隆值,需严格控制气流速度、温度与湿度以维持检测环境稳定。(4)色泽与杂质检测采用光电比色技术,以标准光源照射样本,接收反射光与透射光信号并与标准色卡数据库对比,量化色泽等级与杂质含量,重点在于光源稳定性校准与色彩空间模型精准匹配。

2.2 棉花纤维化学特性检验关键技术

棉花纤维化学特性检验聚焦成分、含杂量及化学稳定性,通过化学分析与仪器联用技术实现精准检测。

(1)纤维成分分析采用近红外光谱技术,依据不同化学基团对特定波长红外光的吸收差异,建立纤维素、半纤维素及木质素含量的定量分析模型,核心是优化光谱预处理算法,消除基线漂移与噪声干扰,提升光谱数据与化学成分的相关性。(2)含杂量检测运用溶剂萃取技术,根据杂质与纤维在特定溶剂中溶解度的差异,通过索氏提取法分离杂质,结合重量法计算含杂量,需严格

控制萃取温度、时间及溶剂纯度，避免溶剂挥发或纤维溶解影响结果。（3）化学稳定性检测涵盖耐酸、耐碱及耐光性测试，将样本置于特定浓度酸碱溶液或模拟光照环境，定期检测纤维断裂强力保留率，重点是精准控制环境参数，确保检测条件一致且可重复。（4）纤维含糖量检测采用高效液相色谱技术，通过色谱柱分离纤维提取液中的糖分成分，结合紫外检测器定量分析，关键是优化样品前处理方法，提高糖分提取效率与检测灵敏度。

2.3 棉花纤维微观结构检验关键技术

棉花纤维微观结构检验通过高分辨率观测设备，解析表面形态、截面结构及内部孔隙特征，为品质评估提供微观依据。（1）表面形态检测采用扫描电子显微镜技术，以电子束扫描纤维表面，生成高分辨率三维图像，观察表面皱纹、裂痕及杂质附着情况，核心是对样品进行导电处理并调节电子束参数，避免样品充电或损伤，确保图像清晰真实。（2）截面结构检测采用冷冻切片技术与光学显微镜联用方法，经冷冻处理保持纤维原有结构，切片后染色，在光学显微镜下观察截面形状、胞壁厚度及中空大小，重点是控制切片厚度与选择合适染色剂，保证截面结构完整、特征清晰。（3）内部孔隙检测运用氮气吸附-脱附技术，通过测量氮气在纤维表面的吸附量与压力变化，计算比表面积、孔隙体积及孔径分布，需严格控制样品预处理温度与真空度，消除纤维表面吸附的水分与杂质对检测结果的干扰。（4）纤维结晶度检测采用X射线衍射技术，利用X射线在纤维晶体结构中的衍射现象，分析衍射峰强度与位置，计算结晶度与晶体取向度，关键是校准衍射角度与优化数据解析方法，提高结晶度计算精度。

2.4 棉花纤维智能化检验关键技术

棉花纤维智能化检验融合物联网、人工智能与大数据技术，实现检验过程自动化、数据处理智能化提升效率与准确性。（1）自动化样本处理技术通过机械臂与传送带协同，完成样本自动抓取、称量、整理及上样，结合图像识别技术实现样本定位与姿态调整，核心是控制机械臂运动精度与增强样本识别算法鲁棒性，确保样本处理稳定一致。（2）数据采集与传输技术依托物联网传感器网络，实时采集检验设备运行参数、检测数据及环境条件，通过5G或工业以太网传输至云端数据库，重点是优化数据加密与传输协议，保证数据安全且实时。（3）智能数据分析技术采用机器学习算法，对海量检验数据进行分类、聚类与回归分析，建立棉花品质预测模型与异常数据识别模型，关键是保证算法训练样

本多样、数据特征工程合理，提高模型预测精度与泛化能力^[2]。

3 棉花产业全链条关键环节中纤维检验技术的应用

3.1 棉花种植环节中的纤维检验技术应用

在棉花种植环节，纤维检验技术的应用为培育高品质棉花奠定基础，具体如下：（1）在播种前，通过对棉花种子的纤维品质进行检测，可筛选出优质品种。利用高分辨率显微镜观察种子纤维的初始形态，包括纤维细胞的排列、初生壁厚度等微观特征，以此判断种子潜在的纤维发育能力。同时采用近红外光谱技术对种子内部的化学成分进行快速分析，获取纤维素、蛋白质等含量信息，建立种子质量与纤维品质的关联模型，精准筛选出有望产出长纤维、高强度棉花的种子。（2）在棉花生长期，定期进行田间纤维品质监测。通过无损检测技术，如利用便携式光谱仪测定棉花叶片反射光谱，结合已建立的光谱-纤维品质数据库，实时预测棉花纤维的长度、强度及成熟度等指标。依据生长周期特点，在现蕾期、花铃期等关键节点，采集少量棉株纤维样本，运用纤维长度分析仪、单纤维强力仪等设备，精确测量纤维长度分布、单纤维断裂强力等参数，根据检测结果及时调整灌溉、施肥策略，确保棉花生长环境适宜，促进纤维良好发育。

3.2 棉花收购环节中的纤维检验技术应用

棉花收购环节是把控棉花质量的关键入口，以下纤维检验技术在此发挥着重要的分级定价作用。（1）收购现场，广泛应用HVI（大容量纤维测试仪）对棉花进行快速检测。HVI能在短时间内对棉花纤维的长度、强度、马克隆值、色泽等多项关键指标进行测定。操作人员将抽取的棉花样品放入HVI设备，设备自动完成纤维梳理、检测及数据输出。如通过激光扫描系统测量纤维长度，利用电子强力传感器检测纤维强度，依据光学检测模块分析色泽，依据气流原理测定马克隆值，系统将各项检测数据整合，按照国家标准对棉花进行等级划分，为收购定价提供客观依据。（2）除了仪器检测，感官检验技术也不可或缺。经验丰富的检验人员通过手扯法初步判断纤维长度，用手触摸感受纤维的柔软度、弹性，以此辅助判断纤维强度，通过观察棉花色泽、杂质分布情况，结合仪器检测数据，综合评估棉花品质。在收购过程中，为确保检验结果的准确性与公正性，定期对HVI等仪器进行校准维护，采用标准棉样对仪器检测数据进行比对验证，保证检测结果的可靠性，保障棉农与收购企业双方的利益。

3.3 棉花加工环节中的纤维检验技术应用

棉花加工环节的纤维检验技术旨在提升加工质量，减少纤维损伤，提高产品附加值，具体应用如下：（1）在轧花阶段，安装在线纤维长度监测装置，实时监控籽棉在轧花过程中的纤维长度变化。该装置利用光学成像原理，对输送带上的棉花纤维进行连续拍摄，通过图像分析算法计算纤维长度，一旦发现纤维长度出现异常缩短，立即调整轧花设备参数，如调整轧辊间隙、转速等，避免因设备不当操作造成纤维过度损伤。（2）在清弹工序中，运用杂质检测技术对棉花中的杂质进行精准识别与去除。采用光电传感器结合图像识别技术，当棉花通过检测区域时，传感器捕捉棉花与杂质的光学特征差异，如颜色、形状等，将数据传输至控制系统，控制系统根据预设程序启动杂质清除装置，如气流吸附、机械剔除等，高效去除棉花中的叶屑、棉籽壳等杂质，提高棉花洁净度，保障后续纺纱质量。（3）在打包环节，对加工后的棉花进行终检。使用纤维细度分析仪、成熟度测试仪等设备，对棉花纤维的细度、成熟度进行再次检测，确保成品棉花各项纤维指标符合相应等级标准，只有经检验合格的棉花才能进行打包、入库，为下游纺织企业提供质量稳定的原料。

3.4 棉花贸易环节中的纤维检验技术应用

在棉花贸易领域，纤维检验技术是保障交易公平、顺畅进行的重要手段，具体应用如下：（1）贸易双方在签订合同前，会共同委托专业纤维检验机构对棉花进行公证检验。检验机构严格按照国际通行标准，运用先进的检测设备与技术，对棉花纤维品质进行全面检测。除常规的长度、强度、马克隆值等指标检测外，还会针对贸易合同中的特殊要求，如对棉花异性纤维含量、色牢度等进行专项检测。（2）在国际贸易中，不同国家和地区对棉花纤维品质有着不同的标准和要求。检验机构依据进口国标准，采用相应的检测方法及设备进行检测。例如，对于欧美市场，注重棉花纤维的一致性与色泽稳定性，需运用高精度的纤维长度整齐度分析仪、色差仪等设备进行检测；对于亚洲部分国家，对棉花的强力与细度有特定要求，需选用符合其标准的单纤维强力仪、纤维细度仪进行测定^[3]。

4 促进棉花产业中纤维检验技术应用的策略

4.1 推动检验技术普及与设备升级

针对不同规模棉企的需求，开展分层分类的技术推广活动。组织专业团队深入基层，为企业提供检验技术操作培训，讲解设备使用规范与维护要点，提升企业技术应用能力。联合设备生产企业，开发适配中小型棉企的低成本、易操作检验设备，简化设备操作流程，降低技术应用门槛。建立检验设备共享机制，在棉花主产区搭建区域性检验中心，供中小棉企共享高精度检验设备，避免重复购置，提高设备利用效率。

4.2 加强专业人才培养与队伍建设

构建“校企合作”人才培养模式，推动高校与棉花企业、检验机构合作，开设棉花纤维检验相关专业课程，定向培养具备理论知识与实操能力的专业人才。定期组织行业培训与技能竞赛，邀请行业专家授课，更新从业人员技术知识，提升检验操作熟练度；通过技能竞赛选拔优秀人才，树立行业标杆，激发从业人员学习积极性。完善人才激励机制，对在检验技术应用与创新中表现突出的个人与企业给予表彰奖励，稳定检验人才队伍^[4]。

结束语：棉花纤维检验技术是贯穿棉花产业全链条的关键支撑，从基础特性认知到四大类关键技术研发，再到种植、收购、加工、贸易环节的实践应用，形成了完整的技术应用体系。然而，技术普及不足、专业人才短缺仍是制约其发挥作用的主要瓶颈。未来需进一步落实技术推广与设备升级策略，强化校企协同育人，推动检验技术与产业深度融合。

参考文献

- [1]曹彦花.棉花产业中纤维检验技术应用现状研究[J].数字化用户,2023,29(3):103-105.
- [2]王爱英,张乐柱.棉纤维检验技术在棉花产业中的应用分析[J].中国纤检,2021(5):71-72.
- [3]陈永吉,周涛,木尼热·艾买提.加速棉花纤维检验技术在整个棉花产业中的应用分析[J].科学与财富,2022(9):109-110.
- [4]李静涛.加速棉花纤维检验技术在整个棉花产业中的运用[J].百科论坛电子杂志,2020(6):1287-1288.