

混纺织物混纺比检测的前沿技术及发展趋势

林素存, 魏 菊*

(大连工业大学 纺织与材料工程学院, 辽宁 大连 116034)

摘要: 综述混纺织物混纺比检测领域的最新发展动态, 主要包括分子生物技术、光谱技术、计算机视觉技术等, 介绍上述前沿检测技术的基本原理和技术特点, 对比优势与不足; 概述前沿检测技术在羊毛/羊绒织物和棉/麻混纺织物混纺比检测中的具体应用情况, 对其发展趋势进行展望。

关键词: 混纺织物; 混纺比检测; 前沿技术

中图分类号: TS 107

文献标志码: A

文章编号: 1673-0356(2023)11-0014-04

与纯纺织物相比, 混纺织物能够充分利用不同纤维的优点, 起到优势互补的作用。混纺比是混纺织物检测的一项重要指标^[1]。随着纺织科技的快速发展, 混纺织物的品种越来越丰富, 在满足人们物质文化生活需求的同时也对混纺比检测技术提出了更高的要求。传统的混纺比检测方法主要有化学溶解法^[2]和人工肉眼识别法^[3]。化学溶解法利用纤维的溶解性差异, 选择合适的化学试剂溶解织物中的某种组分, 通过织物溶解前后的质量差计算混纺比。但由于涉及化学药品的使用, 化学溶解法有一定的环境污染风险, 有些试剂如二甲基甲酰胺^[4]有毒, 危害人体健康。人工肉眼识别法是将混纺织物拆解成纤维, 在显微镜下观察, 人工识别纤维类型并计数根数从而计算混纺比, 肉眼识别法对检测人员要求高, 测试费时费力。由此可见, 寻求绿色安全的新技术代替传统检测技术具有重要的现实意义。

近年来, 研究人员开发了一系列利用生物、光谱学、数学、计算机等技术对混纺织物进行混纺比检测的新技术^[5], 具有出准确率高、稳定性高、应用范围广等特点, 在混纺织物混纺比检测领域表现出巨大潜力, 在纺织品检测行业中受到了密切关注。

综述分子生物技术、光谱技术和计算机视觉技术在混纺织物混纺比检测领域的最新发展, 介绍上述技术在羊毛/羊绒类、棉/麻类织物混纺比检测方面的研究进展, 为混纺比检测技术的研究和实际应用提供参考。

1 混纺织物混纺比检测前沿技术研究进展

1.1 分子生物技术

随着生命科学的发展, 人们尝试将分子生物技术应用于混纺织物混纺比检测, 根据纤维生物分子特征差异来检测特定纤维的量, 从而计算出不同纤维的含量比例^[6]。根据其在混纺比检测应用中的分子类型, 主要分为脱氧核糖核酸技术和蛋白质生物质谱分析技术。分子生物技术只适用于纤维中含有生物分子的情况, 有机天然纤维均满足此条件, 普通化学纤维不适用, 但如果化学纤维在制造过程中添加了蛋白质或其他生物分子, 则同样可以使用分子生物技术进行检测。

1.1.1 DNA 技术

脱氧核糖核酸(DNA)技术根据不同类型纤维含有的特定 DNA 序列进行识别和定量分析^[7]。为了增加 DNA 含量, 提高识别精度, 一般需要引入荧光聚合酶链式反应(PCR)技术, 使用特定的 DNA 引物或探针针对目标 DNA 片段进行体外扩增, 提高检测的敏感性。费静等^[8]针对羊绒、牦牛绒的线粒体基因序列, 挑选了 12srRNA 基因区域, 设计 6 个引物和探针, 通过实时荧光 PCR 技术, 利用荧光信号监控 DNA 扩增, 建立了山羊绒、牦牛绒含量与其 DNA 含量之间的关系, 且该方法的重复性和再现性为 3.4% 和 4.8%, 能够实现定量检测。

1.1.2 蛋白质生物质谱分析技术

作为纤维的主要组成部分, 角蛋白可以被特定蛋白质标记物标记, 由基质辅助激光解吸/飞行时间质谱分析技术(MALDI-TOF-MS)^[9]分析样本中蛋白质的组成, 从而实现混纺比的检测。这种方法具有高灵敏度和高准确性。费静等^[10]将羊毛/羊绒混合物提取并纯化的蛋白质进一步酶解, 结合 MALDI-TOF-MS 生物质谱分析技术分析多肽, 得到羊毛含量与羊毛、山羊

收稿日期: 2023-09-05

基金项目: 大连市科技创新基金项目(2019J12SN71)

第一作者: 林素存(1997—), 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向为纺织品检测方法。

* 通信作者: 魏 菊, E-mail: weiju@dpu.edu.cn.

绒的质谱特征峰 m/z 2 664、2 691 峰强度比值之间的关系,构建了羊绒、羊毛定量标准曲线,可用于羊毛/羊绒织物混纺比检测,灵敏度在 5% 左右。相较于 DNA 技术,蛋白质分析技术具有很高的特异性。不过,从混纺样本中提取蛋白质步骤繁琐,需要经过粉碎、溶解和纯化等处理,容易产生误差,导致准确率降低。

1.2 光谱技术

与分子生物技术相比,光谱技术适用面更广,是混纺比检测领域的一大进展。其基于不同纤维材料在不同波长下的吸收、散射或发射光谱特性来进行区分和定量分析,通过光谱成像仪器采集纤维光谱数据,利用光谱图像与纤维含量之间的关系,建立定量模型来确定混纺织物的混纺比。在定量分析过程中,图谱处理是关键,往往由于数据的复杂性,增加了检测难度。混纺比检测光谱技术主要有近红外光谱法、傅立叶变换红外光谱法、变换衰减全反射红外光谱法等,目前最常使用的是红外光谱法。沈琼^[11]将采集样品的近红外光谱图和偏最小二乘法^[12]结合,建立了棉/氨混纺比定量模型,此模型具有良好的稳定性和重复性。程鑫桥等^[13]使用傅里叶变换红外光谱仪采集羊毛和腈纶纤维粉末在波数 $4\ 000\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 的红外光谱,用偏最小二乘法建立羊毛/腈纶混合物的定量分析数学模型,通过检验,误差在 $-2.17\%\sim 1.70\%$ 之间。魏子涵等^[14]建立了涤纶/棉、涤纶/羊毛、涤纶/锦纶、蚕丝/棉和涤纶/黏胶等纯纺及混纺织物的傅里叶变换衰减全反射红外光谱库,能用于检测相应混纺织物的混纺比。与傅立叶变换红外光谱法相比,变换衰减全反射红外光谱法具有不需要对样品进行额外处理的优点,但仅适用于织物表面成分分析,对于织物纤维组成表里有差异的织物并不适用。

1.3 计算机视觉技术

随着计算机技术的发展,计算机视觉技术在混纺织物混纺比检测方面体现出了巨大的潜在优势。将混纺织物拆解成纤维后拍摄显微图像,通过计算机视觉技术对显微图像进行处理,识别出纤维类型并计数其数量,从而计算出织物的混纺比例。与分子生物技术和光谱技术相比,具有设备简单、操作要求低等优点。计算机视觉技术对纤维图像分析和特征提取所用的技术方法主要有机器学习和深度学习。

1.3.1 机器学习

机器学习通过人为设计和选择特征来表示数据,运用不同方法搭建检测系统对纤维图像数据进行学习,将待测试样的纤维图像输入训练好的检测系统即可得到混纺比结果。机器学习通常需要专业知识和经

验,难度较大,但在一些小规模数据或特征维度较高的纤维图像检测上效果较好。机器学习方法主要有支持向量机^[15]、贝叶斯分类、反向传播(BP)神经网络等。

支持向量机(SVM)是指在训练的纤维数据集样本中,找到一个最佳的分界线来正确区分不同种类的纤维或面料^[16]。陶伟森等^[17]以羊毛/羊绒混纺织物为研究对象,通过图像处理获得纤维直径、鳞片密度、鳞片面积、相对面积、能量、对比度等 12 个特征参数。经过以传统支持向量机(C-SVM)为分类模型,径向基(RBF)函数为核函数的 SVM 训练,羊毛/羊绒识别正确率为 93.1%。支持向量机鲁棒性好,支持多类识别,具有优良的泛化能力;但核函数类型的选择以及数据量过大都会影响支持向量机的性能,进而影响识别分类结果。

贝叶斯分类基于贝叶斯定理,根据设置的先验概率和由数据训练统计到每个特征的条件概率来计算后验概率,选择后验概率高的作为预测结果^[18]。该方法的局限性在于先验概率的选择会影响检测结果。WEN Y X 等^[19]选取羊毛和羊绒的鳞片直径、高度及其比例构成三维特征向量,用于贝叶斯分类模型进行识别,利用自主研发的图像采集系统收集并处理 1 000 张羊毛和羊绒图像,建立了一个识别羊毛和羊绒的专家识别系统;用五重交叉验证纤维分类,识别准确率分别为 93.0%、95.4%。

BP 神经网络^[20]作为一种简单且用于解决分类和回归问题的神经网络模型,可以通过反向传播算法来逐步调整权重,从而最小化预测值与实际值之间的误差。赵宇涛等^[21]将由图像预处理后的纤维轮廓提取直径、扭曲度、充满度特征值,输入到 BP 神经网络中训练,研发出棉/亚麻自动检测系统。系统在 759 个纤维图像测试集下,识别正确率高达 94.4%。BP 神经网络易受试验样本影响,在处理复杂数据和大规模问题时,需要使用其他更复杂的神经网络结构。

1.3.2 深度学习

深度学习技术是将纤维数据集和不同目标检测算法结合形成模型,通过模型训练,自动学习样本中的特征和图像,以达到精准识别的目的。常用的目标检测算法分为双阶段目标检测算法和单阶段目标检测算法,用于检测图像中目标物体的位置和类别,适用的纤维范围较为广泛,但需要大规模数据量来支持训练。

以区域卷积神经网络(R-CNN)系列为代表的双阶段检测算法基于候选区域目标检测^[22],算法通过网络生成多个可能包含目标物体的候选框,之后送入一个分类器以检查候选框内是否存在目标物体并识别出物

体的类别,具有检测精度高的特点。肖登辉等^[23]采集了棉、麻纤维图像 3 200 张,对建立的 Faster R-CNN 模型进行训练,模型评价指标平均精度均值(mAP)达到了 0.905。从明芳等^[24]采用 Mask R-CNN 卷积神经网络在语义分割的同时实现羊绒、羊毛识别和预测,检测结果一致性在 95%以上,提高了处理效率。

双阶段目标检测算法框架相对灵活,有较好的泛化能力,但计算量高、复杂,难以处理小目标,不适合实时检测应用。单阶段目标检测算法^[25]基于边界框的回归分析,输入图像经过层层卷积直接得到目标检测结果,算法省略了候选区域生成阶段,结构更精简,检测速度快。秦介垚等^[26]在面积测量上,利用透反射结合的方法采集非包埋法纤维横截面轮廓,建立滑动窗口遍历计算;在根数识别上,将 YOLOv5 算法^[27]中的普通卷积替换为可形变卷积,开发出混纺织物智能识别模型,该模型在 100 份任意混纺比织物样品检测中偏差结果都处于合理范围内。

2 前沿技术在混纺比检测上的应用进展

2.1 羊毛/羊绒类

羊毛和羊绒纤维形态特征和鳞片结构相似,凭借肉眼观察区分难度较大,两者的燃烧、溶解特性也相似,传统方法检测羊毛/羊绒织物混纺比难度较大,但分子生物技术和计算机视觉技术近年来在此领域取得了较好的进展。在分子生物技术上,李典典^[28]使用常规酚-氯仿法结合固相萃取技术提取混合样中的 DNA,结合荧光 PCR 法得到混合物中羊毛、羊绒含量和它们线粒体 DNA 之间的关系,计算 5 种不同比例混纺织物样品的实测平均值均与理论值较接近。在计算机视觉技术方面,刘爽等^[29]利用 Canny 算法、鳞片骨架法和灰度共生矩提取了羊毛、羊绒形态及纹理特征共 16 个数据,将其传入到 3 层 BP 神经网络模型中训练以实现分类识别,在 300 根纤维测试集的情况下,模型的总体识别率为 93.3%。游光明等^[30]根据羊绒的鳞片表面光滑度和光泽优于羊毛鳞片的特点也开发了基于计算机视觉技术的羊毛/羊绒混纺产品的定量分析智能软件,准确率偏差不超过 5.0%。

2.2 棉/麻类

棉/麻类混纺织物无法使用化学溶解法检测混纺比,只能采用人工肉眼识别法,使用神经网络的深度学习技术可以有效降低显微镜观察法带来的误差。刘瀚旗等^[31]在棉/麻混纺纱混纺比检测上对比探究了 YOLOv3 和 Faster R-CNN 2 种神经网络模型,通过在学习率以及数据增强上的改良,YOLOv3 的 mAP 达

到 0.973,检测准确率和检测耗时都明显优于 Faster R-CNN。潘全等^[32]将深度学习网络模型 Resnet-18 与 Mask RCNN 结合,建立了具有高准确度的麻/棉自动识别与采集分析系统。该系统的控制模块调动高精度电动平台自动三轴全覆盖扫描纤维图像,符合算法清晰度要求的图像被传入训练后的 Resnet-18 模型中以识别纤维类型,通过 Mask RCNN 网络模型定位图像中纤维的位置信息,结合轮廓计算纤维面积,混纺比检测误差在 5%以内。

3 结束语

混纺比检测能够测量混纺织物中各组分的纤维含量,是控制织物质量和性能的重要途径。传统的混纺织物混纺比检测技术需要使用化学药品,检测时间长,操作要求高,费时费力。随着科技的发展,一些先进的检测技术逐渐被应用于混纺织物混纺比检测领域,表现出绿色环保、智能高效、稳定可靠的特点,引起了检测行业研究人员的高度关注,具有良好的发展前景。随着各种前沿技术的持续发展和完善,未来各种技术间将有进一步融合的发展趋势:(1)前沿技术与传统技术相融合,充分利用传统检测技术在获取纤维物理特征、化学特性、图像信息方面的优势,满足精细化检测的需求;(2)不同前沿检测技术间的融合,多组分混纺织物比较复杂和多样,仅靠单一的前沿技术会有局限性,将光谱技术、计算机视觉技术相结合,构建多模态检测系统,使检测方法更具通用性,将为混纺织物混纺比检测提供更为全面的解决思路。

参考文献:

- [1] 吴佳庆,王怡婷,何欣欣,等.混纺比对生物基锦纶 56 短纤/棉混纺纱力学性能的影响[J].纺织学报,2023,44(3):49-54.
- [2] 李晓菲.氨纶/纤维素纤维混纺产品定量方法对比[J].中国纤检,2020(9):69-71.
- [3] 王海娟,丁文芳,张雪.棉麻混纺织物纤维含量方法探讨[J].天津纺织科技,2022(6):32-35.
- [4] 张雪,燕红雁,王海娟.黏胶纤维/腈纶混纺织物定量分析研究[J].合成纤维,2023,52(1):47-50.
- [5] 巫莹柱,秦介垚,卢铭曦,等.混纺织物成分绿色智能检测技术的研究进展[J].棉纺织技术,2023,51(7):1-8.
- [6] 费静,陈晓,刘敏华,等.分子生物学技术在绵羊毛、山羊绒鉴别中研究应用进展[J].现代纺织技术,2022,30(1):36-40.
- [7] 韩军,耿榕,孙旸,等. DNA 检测技术在羊绒羊毛定性定量分析中的应用进展[J].中国纤检,2022(6):71-73.

- [8] 费静,孙世元,王涛,等. 基于荧光定量 PCR 的羊绒、牦牛绒混合物定量检测方法[J]. 现代纺织技术,2019,27(5):34-38.
- [9] BLOISE I, CORCUERA M T, GARCIA-RODRIGUEZ J, et al. Microbial identification in the clinical microbiology laboratory using MALDI-TOF-MS[J]. *Clinical Proteomics: Methods and Protocols*, 2022: 207-216.
- [10] 费静,谢璐蔓,吴娟,等. 基于 MALDI-TOF-MS 的羊绒羊毛蛋白定量法及其应用[J]. 现代纺织技术,2021,29(4):76-80.
- [11] 沈琼. 近红外光谱法对棉/氨纶混纺定量分析的可行性[J]. 染整技术,2020,42(8):53-57.
- [12] 田玲玲,高雅,胡爱琴. 近红外光谱定标法分析丝/氨混纺面料纤维含量[J]. 中国纤检,2021(11):69-71.
- [13] 程鑫桥,王云发,黎海洋,等. 红外光谱法定量分析羊毛/腈纶混合物纤维含量[J]. 毛纺科技,2016,44(3):19-23.
- [14] 魏子涵,李文霞,杜宇君,等. 织物傅里叶变换衰减全反射红外光谱库的建立及应用[J]. 纺织学报,2019,40(8):64-68.
- [15] 王军庆,马佩佩,李保荣,等. 基于图像处理的羊毛/山羊绒鉴别方法研究进展[J]. 纺织科技进展,2020(9):8-11.
- [16] LU K, LUO J, ZHONG Y, et al. Identification of wool and cashmere SEM images based on SURF features[J]. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2019. DOI: 10.1177/1558925019866121.
- [17] 陶伟森,许忠保,陈威,等. 采用数字图像处理的羊毛与羊绒纤维识别[J]. 棉纺织技术,2018,46(2):1-4.
- [18] YUE X, TANG M. An improved Naive Bayesian classification model based on attribute weighting[C]//*Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2020, 1550(2): 022017.
- [19] XING W, LIU Y, DENG N, et al. Automatic identification of cashmere and wool fibers based on the morphological features analysis[J]. *Micron*, 2020, 128: 102768.
- [20] MA T, WANG T, SHI J. License plate recognition system based on improved BP neural network[J]. *International Journal of Computer Applications*, 2020, 176(21): 10429-10439.
- [21] 赵宇涛. 基于图像处理的棉/亚麻纤维自动检测[D]. 武汉:武汉纺织大学,2020.
- [22] 许德刚,王露,李凡. 深度学习的典型目标检测算法研究综述[J]. 计算机工程与应用,2021,57(8):10-25.
- [23] 肖登辉,李立轻,汪军. 基于 Faster rcnn 的棉麻纱混纺比自动检测[J]. 纺织器材,2020,47(3):1-4.
- [24] 从明芳,李子印,卢鸯,等. 基于 Mask R-CNN 深度学习的羊绒羊毛纤维识别技术[J]. 现代纺织技术,2022,30(2):36-40.
- [25] REDOM J, DIVVALA S, GIRSHICK R, et al. You only look once: Unified, real-time object detection[C]//*Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016: 779-788.
- [26] 秦介垚,卢铭曦,刘小亮,等. 基于非包埋法纤维横截面的混纺织物成分智能分析[J]. 棉纺织技术,2023,51(7):9-14.
- [27] QIN J, LU M, LI B, et al. A rapid quantitative analysis of bicomponent fibers based on cross-sectional in-situ observation[J]. *Polymers*, 2023, 15(4): 842.
- [28] 李典典. 山羊绒和绵羊毛混合物荧光 PCR 法测试研究[J]. 针织工业,2023(3):86-88.
- [29] 刘爽,许忠保,李春桥,等. 基于数字图像处理的羊绒与羊毛识别研究[J]. 棉纺织技术,2019,47(10):30-34.
- [30] 游光明,卢铭曦,谭伟龙,等. 基于人工智能技术的羊毛羊绒混纺产品定量分析[J]. 棉纺织技术,2023,51(7):15-19.
- [31] 刘瀚旗,邓中民,李相朋. 基于神经网络的棉麻混纺纱纤维检测[J]. 武汉纺织大学学报,2021,34(6):3-8.
- [32] 潘全,万小蕙,夏正球. 图像自动识别与采集技术在麻/棉织物检测中的应用[J]. 纺织检测与标准,2020,6(3):16-20.

Frontier Technology and Development Trend of Blending Ratio Detection of Blended Fabrics

LIN Sucun, WEI Ju*

(School of Textile and Material Engineering, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: In order to promote the development of blending ratio detection technology of blended fabrics, the latest developments in the field of blending ratio detection of blended fabrics were reviewed, which mainly included molecular biology technology, spectroscopic technology, computer vision technology, etc. The basic principles and technical characteristics of the frontier detection technologies mentioned above were introduced, the advantages and shortcomings were compared, the specific applications of the frontier detection technologies in the detection of blending ratios of wool/cashmere fabrics and cotton/linen blends were summarized, while the development trend of the frontier detection technologies was prospected.

Key words: blended fabric; blending ratio detection; frontier technology