

数字化技术在皮革行业的应用现状及展望

冉诗雅¹, 赵义红², 王巍^{1,2}, 杨璐铭^{1,2*}

(1. 制革清洁技术国家工程实验室(四川大学), 四川 成都 610065;

2. 皮革化学与工程教育部重点实验室(四川大学), 四川 成都 610065)

摘要: 数字化技术是“智能制造工程”的核心技术,也是皮革行业转型升级的关键因素。从皮革加工、皮革检测、皮革制品设计、皮革制品生产与皮革企业管理五大方面,对数字化技术在皮革领域的应用研究现状进行了系统地综述,并展望了数字化技术在皮革行业数控设备研发、自动化生产以及智能化管理等方面的未来发展和面临的挑战,为皮革行业的数字化进程提供参考。

关键词: 数字化技术;皮革行业;皮革加工;自动化;智能制造工程

中图分类号 TS 58 文献标识码 A DOI:10.13536/j.cnki.issn1001-6813.2021-004-007

Application status and prospect of digital technology in leather industry

RAN Shiya¹, ZHAO Yihong², WANG Wei^{1,2}, YANG Luming^{1,2}

(1. National Engineering Laboratory for Clean Technology Leather Manufacture, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. The Key Laboratory of Leather Chemistry and Engineering, Ministry of Education, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Digital technology, as the core technology of "intelligent manufacturing engineering", is the key factor in the transformation of leather industry. Herein, the applications of digital technology in leather making, leather inspection, leather product design, leather product processing and leather enterprise management were systematically summarized. The future development and challenges of digital technology in numerical control equipment, automated production and intelligent management of leather industry were prospected, which provide a reference for the digital process of leather industry.

Key words: digital technology; leather industry; leather making; automation; intelligent manufacturing engineering

引言

2015年,我国正式发布《中国制造2025》行动纲领,将《制造强国发展战略》聚焦于“五大工程”上,“智能制造工程”是“五大工程”之一,也是科技制造发展的主攻方向,而数字化是“智能制造工程”的关

键性技术^[1]。在“互联网+”大背景下,作为我国支柱产业之一的皮革行业也加快了转型升级的步伐^[2]。

数字化技术融合了网络通信技术、计算机视觉技术、现代控制技术等现代化技术,具有“高速、高效、高新”的特点^[3]。为改善传统工业劳动强度大、产业结

收稿日期:2020-04-14;修订日期:2021-03-17

第一作者简介:冉诗雅(1997—),女,硕士研究生,729276623@qq.com

*通讯联系人:杨璐铭(1982—),女,博士,副教授, yangluminglulu@qq.com,主要从事革制品工程与材料方向的研究工作

构落后、生产率低等现状,皮革行业积极推动数字化进程,在皮革加工生产、皮革制品检测、皮革制品管理销售的过程中引入了数控编程技术、视觉检测技术、计算机辅助设计/制造技术等多种现代化技术^[4]。“皮革行业数字化”是新经济常态下的大趋势,也是带领皮革企业朝着智能化、自动化方向发展的新途径^[5]。本文将从皮革加工、皮革检测、皮革制品设计、皮革制品生产与皮革企业管理 5 大方面,对数字化技术在皮革领域的应用研究现状进行系统地综述和展望,为皮革行业数字化进程的发展提供新思路、新参考。

1 数字化技术在皮革加工中的应用

1.1 皮革的湿加工

制革过程集化学处理和物理机械处理于一体,在制革生产加工时会使用多种重型机械,在机械设备数量中所占比例最大的就是转鼓^[6]。近年来随着计算机技术、数字化技术的高速发展,转鼓的机械性能得到大幅度改善,转鼓的使用过程也基本实现自动化^[7]。以 STC 系列单片机为核心的调温控制器,可对转鼓供水系统的混合水温度实现自动化控制^[8]。以比例积分微分控制(PID 控制)为基础的智能转鼓,不仅能使内鼓溶液温度测量误差不超过 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,还可以对内鼓的转速进行智能检测和监控,达到自动化生产标准^[9]。转鼓的微机自动控制系统除了以 PID 控制为基础外,基于可编程控制器(PLC)改进后的新型转鼓能对鞣制过程所需的温度、时间、pH 值、加料量等工艺参数进行实时监测^[10]。国内研发出的智能转鼓数字化传感技术,还可以获取制革加工过程中能源、水、化工原料的消耗量以及污水排放总量等相关数据,利用这些信息不仅可以控制生产成本,还可以计算出皮革生产碳足迹,为欧盟委员会产品环境足迹项目提供数据支持^[11]。

1.2 皮革的废液回收

在皮革鞣制过程中,铬废料的排放会对环境产生潜在的危害。位于捷克北部的 KORTAN 公司开发出一种计算机综合控制与监控系统,可以去除和回收制革工业生产中含有铬离子的鞣制废液以及固体废物^[12]。在回收过程中,该系统会确定各制革工序的生产状态,并根据工艺规程对各工序的生产参数(温

度、压力、浓度等)进行模拟控制,将处理好的废液放入带有混合传感器的计量储罐中。该系统的研发为制革废物回收利用技术的规模化应用提供了一条有利途径。

1.3 皮革的削匀

在制革工业中,数字化技术除了应用在转鼓的智能化控制上以外,削匀机的程序化控制过程也离不开数字化技术。在皮革染整前,为了消除皮革部位差,使其厚度均匀、内里平整,需对皮革肉面进行削匀加工^[13]。李国龙等人^[14]利用零编程数字控制方法构建了集 PC+运动控制卡+A/D 卡于一体的皮革削匀控制系统,将皮革削匀效率提高了 25%。

1.4 皮革的染色

为改善皮革外观并增加其商业价值,大多数轻革在鞣制后需要进行染色处理。计算机辅助颜色预测和质量控制技术,能降低企业对人工配色的依赖性,提高配色质量和生产效率。目前市面上常见的测配色软件主要有:如 Datacolor 公司的 Match 系统, X-Rite 公司的 Color Master 系统,这类开放式测配色软件;以及科莱恩公司的智能颜料膏系统,这类封闭式测配色软件^[15]。而国内江门裕华皮革有限公司研发的皮革自动化染色系统,是集加料池抽料、染料配制、热水供应、转鼓染色于一体的智能化染色控制系统,能实现皮革染色的批量化生产^[16]。

在计算机辅助皮革染技术的应用研究中,杨峰等人^[17]以 Kubelka-Munk 单常数理论为配色依据,通过 Color Master 配色软件建立了皮革染色基础数据库。虽然 Kubelka-Munk 模型是计算机配色软件中常用的配色理论依据,但皮革工艺和原料等复杂因素往往会影响该模型的配色准确度,因此 Jawahar M 等人^[18]建立了基于人工神经网络模型的测色软件,该软件可根据给定染料浓度的参数值来预测皮革的颜色,其研究表明:与传统的 Kubelka-Munk 模型相比,人工神经网络具有更好的颜色预测性能。此外,基于计算机视觉技术和数字图像处理技术,吴林林^[19]设计的皮革测色配色系统,可通过连续灰度区间统计法来判断皮革表面颜色的一致性,并结合染料和标样的颜色值,将配色比例信号输入染料调配系统,使其用调配好的染料对皮革进行自动染色,同时与该系统配套的

用户界面能对配色效果进行实时评价和分析。

1.5 皮革的干燥

为了去除坯革中的水分、改善成革性能,在制革干态整饰工程中需要对皮革进行干燥处理。太阳能是一种低成本、环保、无污染的能源,目前太阳能干燥技术已在热水生产和皮革干燥过程中得到广泛应用^[20]。太阳能自动化烘干设备是一种经济节能的加工生产设备,通过该设备来自动调节干燥温度和相对湿度,能有效提高皮革干燥时的速度,使皮革实现接近于开放式干燥时的物理特性,可用于规模化的皮革干燥生产过程,实现最大化的生产效率和经济效益^[21]。

1.6 皮革的涂饰

为改善皮革外观,保护其表面和掩盖轻微的视觉缺陷,皮革需要进行涂饰。在皮革喷涂过程中,也广泛应用了机器视觉技术和数控技术,主要体现在皮革喷涂系统的智能控制技术和数码印花等高新技术上。早在1999年,加拿大的Lang等人^[22]就研发了自动化皮革喷涂原型系统,可实现手动喷涂和自动喷涂的选择控制。此后,侯铁年等人^[23]又以VB语言为基础,用系统微机替代单片机来控制皮革喷涂,开发了皮革自动喷涂软件仿真系统,并优化了喷涂轨迹、喷涂速度等喷涂参数。为了达到“有皮则喷,无皮停喷”的自动化控制喷涂目的,王凡^[24]基于机器视觉技术设计的皮革喷涂系统,可以对皮革形状进行识别,并根据形状检测结果对皮革进行精确喷涂,能够节省涂饰剂、减小污染,为实现高质量、高效率的规模化皮革喷涂生产打下了基础。

在皮革的整饰过程中,皮革印花有掩饰皮革瑕疵、增加皮革美观度的作用^[25]。数码皮革印花工艺是计算机技术、数字化技术、图像处理技术飞速发展的产物,它可将摄影图片、绘画作品、文字图案直接转移至皮革面料上,同时还能保持皮革粒面的天然质感^[26]。数码印花技术、智能墨滴变换技术可实现在皮革上直接进行喷墨打印加工,印刷出的图案具有高精度、防退色的特质^[27-28]。数码印花技术在欧美国家的市场中占比达到79%,我国市场上较为成熟的数码印花方式包括热转印数码印花、分散直喷数码印花、活性数码印花、涂料直喷数码印花、阳离子数码印

花等^[29]。较传统皮革印花技术而言,数码皮革印花技术在色彩种类和图案样式上都有更多选择性,同时节约了人力成本、减少了人为印刷误差,也满足了各类群体对特殊皮革整饰的需求^[30]。

2 数字化技术在皮革检测中的应用

2.1 皮革分类识别及缺陷检测

2.1.1 皮革的分类识别

皮革基于机器视觉检测技术的工作主要有皮革识别分类和皮革表面缺陷检测。皮革的分类属于典型的模式识别问题,包括轮廓提取、特征采集、分类抉择、分类系统设计^[31]。利用纹理特征识别技术,Chonjong K等人^[32]设计了一种基于神经网络的分类器对皮革图像进行分类抉择,准确率可达84%,但系统运行速度较慢。Hoang K等人^[33]通过提取牛皮纹理特征对皮革质量进行等级划分评定。同样基于纹理分析技术,刘昶^[34]通过研究提取算法来描述鞣制类型皮革图像的毛孔特征,以此对皮革纹理图像进行分类。而赵海^[35]主要通过主色聚类的改进算法和去除纹理的颜色分类算法,设计了皮革颜色识别分类系统,但这种系统不能同时对两份皮革图像进行分类,因此提高算法运行速度和颜色搜索分类自动化程度是完善该系统的关键。

2.1.2 皮革表面的缺陷检测

皮革表面瑕疵的查找是影响皮革产品质量和皮革制品生产效率的重要因素^[36]。在皮革表面缺陷检测的研究中,也广泛应用了机器视觉检测技术。早在1997年,Hoang K等人^[37]就提出了一种利用图像中像素点的空间信息和灰度值来识别皮革表面缺陷的阈值分割方法。到了2003年,Tsai D等人^[38]基于傅里叶变换(FT),同样将纹理图像中困难的缺陷检测转化为非纹理图像中简单的阈值问题,完成对皮革表面缺陷的自动检测。随后,改进模糊C—均值聚类方法和纹理图像分割方法开始在皮革表面缺陷的检测研究中得到广泛应用。崔杨^[39]通过提取皮革图像的纹理特征,并利用共生矩阵对特征进行聚类,从而实现了对皮革表面缺陷信息的自动检测。常竞^[40]基于遗传算法对不同类型的半成品皮革缺陷图像进行分割处理,并采用有针对性的图像检测方法对各类缺陷进行了精确定位。陈虹^[41]采用基于纹理图像分割方法

和模糊 C—均值聚类方法对皮革图像进行分割处理和缺陷检测,并采用灰度图像直方图来对皮革表面缺陷种类进行分类。贺福强^[42]以粒子群优化模糊聚类算法和自适应小波频带重构算法为基础,对皮革瑕疵实行自动化识别检测。基于视觉显著度,严飞华^[43]建立了瑕疵检测模型,并通过纹理特征提取技术提高了皮革图像缺陷检测的精度。在国外基于视觉技术检测皮革缺陷的应用实例中,美国 Gerber 公司研发的 Taurus XD 皮革剪裁数控系统可识别最小缺陷面积为 0.25 cm^2 ^[44];法国 Lectra 公司研发的 Vector 裁床整机器可通过视觉装置获得皮革缺陷信息并以数字化形式进行存储^[45]。

在红外检测技术应用于皮革缺陷的研究中,万长青^[46]基于红外热像技术,对汽车座椅皮革的缺陷区域和无缺陷区域的红外热像图进行对比,从而实现对汽车座椅皮革表面缺陷的无损检测。GUAND^[47]发明了基于光谱技术的皮革质量检测系统,通过光谱传感器将收集到的皮革表面信息传输给控制器,同时 GUAND^[48]还利用红外检测技术,完成无线信号对远程数据的传输过程,实现对皮革制品表面的全面扫描检测。

综上,可以看出,目前皮革表面缺陷分类提取算法主要分为:基于形状特征对缺陷进行分类^[49-50]、基于纹理表现对缺陷进行分类^[39,41,43]。将数字化技术应用于皮革分类及表面质量检测工作中,能更好地检测区分出皮革缺陷中外观形状没有规律、不易被人眼所发现的色差、污斑、伤痕,在提高检测速度的同时也降低了劳动强度。

2.2 皮革物理性能检测

数字化技术在皮革物理性能检验中主要应用于皮革感官性能的评定、皮革面积的数字化测量、皮革厚度的数字化测量、皮革收缩温度和皮革排放气体的数字化检测等方面。

2.2.1 皮革感官性能的数字化检测

对皮革感官性能进行定性定量的客观性测试评价在皮革物理性能的检验中尤为重要,通过对皮革的抗张强度、崩裂强度、延伸率等力学指标进行分析,苏真伟等人^[51-52]建立了评定皮革手感的数学模型,随后又将人工神经网络应用于服装革手感检测信号的

处理中,以此实现对皮革手感进行量化检测。针对皮革柔软度、丰满度等皮革触觉参数的测定,张明^[53]利用智能传感技术,探索了采用指尖皮肤传感装置测试皮革触觉特性的新方法,排除了传统检测时主观评价所带来的人为误差,更精确、客观地对皮革品质的好坏进行检测。

2.2.2 皮革面积的数字化检测

在皮革面积的检测方面,张江雯^[54]基于数字化图像处理技术提出了棋盘格角点检测方法,该方法通过对采集的皮革图像进行轮廓提取、缺陷识别,来实现对皮革有效面积的智能化测量。此外,在皮革制品加工过程中需要对皮革进行剪裁处理,这时往往会出现基线模型与实际皮革形状面积存在偏差的问题。针对这类误差问题,Pacella M 等人^[55]提出了皮革剖面形状监测法——单段法和多段法,通过研究表明,多段法对于皮革轮廓偏差的监测有更好的效果。Grieco A 等人^[56]设计了皮革面积误差度量系统,该系统可实时捕获每个切割零件的形状图像,并通过计算切割后的皮革零件与基线模型之间的形状偏差面积,来实现对皮革剪裁质量差异的检测。通过上述皮革面积误差检测技术,可以进一步提高数控切割机在皮革行业的使用效率。

2.2.3 皮革厚度的数字化检测

在皮革厚度的测量方面,宁铎等人^[57]成功研制出 MH-YD1S 型手持式数字皮革厚度测定仪,能在生产现场快速准确地获取皮革厚度参数,实现了在满足“恒定压强”这一测量条件下,对三维空间里任意方向上的皮革厚度进行实时测量。同时宁铎等人^[58]还对传统皮革厚度测定仪产品进行了改良,在不增加机械按钮开关的情况下,通过软件方式获取测量开始时计时信号,实现对生产线上的皮革半成品厚度的准确测量。

2.2.4 皮革收缩温度的数字化检测

在皮革收缩温度的检测方面,为了解决皮革收缩温度仪对微小收缩位移的高精确测量这一技术难题,孟多等人^[59]基于机器视觉技术,采用图像位移传感器提取皮样收缩微小位移信息,使检测精度达到 0.01 mm ,实现了非接触式皮革收缩温度检测,解决了传统

霍尔传感器位移检测精度低的问题。针对皮革收缩温度仪对温度的高精度测量问题,曹继春^[60]通过对MSW-YD4型皮革收缩温度测定仪的位移、温度测量方式以及相关机械装置进行改进,将温度测量精度从0.5℃提升到0.18℃,实现了对皮革收缩温度的高效检测,但由于测定仪存在机械部件笨重等问题,还需对仪器的便携性进行优化。

2.2.5 皮革气体排放的数字化检测

在皮革气体排放的检测方面,由于气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析方法不适合对皮革产品进行在线监测和监控,由半导体气体传感器与模式识别程序相结合的电子鼻检测系统,可用于检测汽车用皮革的异常气体排放,与感官分析方法和GC-MS分析方法相比,该系统的检测效率更高、检测过程更便捷^[61]。

随着通信网络和摄像硬件的高速发展,人工检测已不能满足皮革行业高精度实时测量的要求。在皮革物理性能检测领域,图像处理技术和机器视觉技术等已得到广泛应用,数字化检测替代人工检测已是大势所趋。

3 数字化技术在皮革制品生产中的应用

3.1 智能排样

在皮革制品的面料加工过程中,通常采用裁断机辅助人工排样、裁料的半机械生产方式。由于皮革的形状和轮廓不规则,关于如何实现皮革面料零件的自动化组合排样、优化皮革切割顺序、实现数控设备的智能化集成等问题,是皮革制品数字化生产及研究领域的关注焦点。只有解决了这类问题,才能使企业降低劳动成本、优化材料分割、最大化原料利用率,实现高效生产^[62]。

智能排样技术能够对开料零件进行自动化合理布局,通过避开皮革原料瑕疵、孔洞等区域,使得各零件之间互不重叠,最大化原料板材的利用率^[63]。目前对于二维排样问题,常用的智能优化算法有:模拟退火算法(simulated annealing, SA)^[64]、遗传算法(Genetic Algorithm, GA)^[65]、蚁群算法(Ant Colony Optimization Algorithm, ACO)^[66]、粒子群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)^[67]。而对于优化排样的方法主要有两种思路:基于矩形包络的排样方法、基于图形几何规则的直接排样方法,前者算法计算简

单但材料利用率低,后者利用率高但算法复杂、运行时间长^[68]。

以常用的遗传算法为理论依据,Crispin等^[69]设计的自动化排样系统,通过对给定的皮革排样区域中对零部件施加方向性约束和非重叠约束,来解决鞋业中出现的二维排样问题。不同的是,Z Yuping等人^[70]研究的排样软件不仅采用了遗传算法,还结合了模拟退火算法,并对其全局收敛性进行了优化,使得1h内材料排样的利用率大于70%。

在皮革排样的优化算法研究中,林庆武^[71]提出启发式边长匹配算法模型(主要涉及样片轮廓离散化算法、匹配寻优算法、碰撞检测算法),并将算法模型运用到皮革智能排样系统中,提高了皮革母版的利用率。Lee等人^[72]则设计了快速定位与移动(QLM)算法,与遗传算法相比,计算排样布局所需时间更少,材料利用效率更高。同时,Alves等人^[73]设计了非拟合多边形的排样算法,以此解决汽车坐垫革生产时的零部件排样问题。与Alves等的研究方法相近,吴龙飞^[74]基于NFP(临界多边形)的启发式排样算法设计了皮革切割智能化排样系统,但目前还需对此算法的普适性进行优化研究。而温静^[75]则采用特征映射Hopfield神经网络混合优化排样算法设计了智能排样系统,但该系统在对多图形排样时易受纹理瑕疵约束,存在一定局限性。

3.2 数字化切割与裁剪

皮革制品的加工中,第一道工序是需要通过手工或机械方式将皮革面料裁剪出所需产品零部件的特定形状。计算机辅助设计与制造技术(CAD/CAM)、计算机辅助排样技术(CAN)的高速发展,使得皮革自动化切割系统应运而生^[76]。

数控裁剪的进行,需要数控系统针对皮革样片轮廓生成有效的走刀路径,从而避免刀具过切、误切等问题。基于直线过渡的二维扩展轮廓算法,可以提高走刀路径的精确性和可靠性,但由于该算法运行速度较慢,只适用于高效率的小批量生产^[77]。为了提高走刀曲线平滑率和加工效率,并实现皮革切割的规模化生产,梁彦朋等人^[78]设计了一种基于OMAP-L138+FPGA模式的数控皮革切割运动控制系统,目前已在实际生产中得到应用。

(未完待续)