

DOI: 10.12326/j.2096-9694.2022142

家具智能制造数控技术的发展与应用

余映月¹, 管军², 唐其², 朱兆龙¹

(1. 南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037; 2. 梦天家居集团股份有限公司, 浙江嘉兴 314100)



摘要: 数控技术的应用是实现家具智能制造的关键, 也是促进我国制造业发展的重要途径。阐述数控技术的构成、特点及其发展历程。以板式家具生产为例, 介绍数控技术在我国家具制造开料、封边、钻孔等工序中的应用现状, 提出开发自适应的数控应用程序、发展多元化数控技术、搭建数字化管控平台等发展策略。

关键词: 数控技术; 木工设备; 家具制造; 发展趋势

中图分类号: TP29; TS6 文献标识码: B 文章编号: 2096-9694 (2023) 02-0072-06

Development and Application of Numerical Control Technology in Intelligent Manufacturing of Furniture

YU Yingyue¹, GUAN Jun², TANG Qi², ZHU Zhaolong¹

(1. College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. Mengtian Home Group Co., Ltd., Jiaxing 314100, Zhejiang, China)

Abstract: The application of numerical control technology is the key to realizing intelligent manufacturing of furniture, which promotes the development of the Chinese manufacturing industry. In this paper, the composition, characteristics, and developing process of numerical control technology was explained. Meanwhile, considering the panel furniture manufacture as an example, it was emphasized on the application status of numerical control technology applied in the material sawing, edge banding, drilling processes. The strategies for the furniture manufacturing industry were put forward such as developing adaptive numerical control application program, developing diversified technology, building numerical control platform and so on.

Key words: numerical control technology; woodworking machines; furniture manufacturing; development trend

收稿日期: 2022-07-20; 修改日期: 2022-09-20

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目“木质家居产品柔性制造技术”(2018YFD0600304); 江苏省高等学校自然科学基金项目“WPC切削过程中脆性破坏变形机制及其表面损伤抑制研究”(21KJB220009); 国家木竹产业技术创新战略联盟科研计划课题项目“高耐磨转数液体喷涂饰面纸的工艺研究”(TIAWBI2021-08); 南京林业大学2021年自制实验教学仪器项目“木工数控机床功耗智能监控实验装置”(nlzzyq202101)。

作者简介: 余映月(2000—), 女, 硕士研究生。Email: Yingyue@njfu.edu.cn

通讯作者: 朱兆龙, 男, 讲师。Email: njfuzzlong@outlook.com

制造业是立国之本、强国之基, 促进新技术为制造业赋能, 是实现经济高质量发展的战略选择。随着新一轮科技革命和产业变革的蓬勃发展, 先进制造技术得到了越来越广泛的应用^[1-3]。近年来, 我国家具制造行业发展迅速, 跃升为世界第一出口大国, 国内家具销量亦逐年增长。据国家统计局发布的统计公报, 我国2022年家具类消费品零售额已高达1 635亿元^[4]。为了进一步提升家

具企业产能，我国家具行业正在进行产业结构调整^[5-7]，其中数控技术的革新已成为家具制造行业转型升级的重要推动力。

1 数控技术基础及其发展历程

1.1 数控技术的内涵及特点

数控技术（numerical control, NC）集计算机、自动控制、自动检测、信息处理等先进技术于一体，是利用数字量及字符发出指令对机床设备的运动和加工过程进行控制，从而实现生产过程自动化的技术^[8-11]。如图1所示，数控技术系统主要包括：1）数控系统^[12]，主要由计算机数控装置（computer numerical control, CNC）、主轴和进给伺服驱动装置、可编程控制器（programmable logic controller, PLC）、测量装置等组成，是数控技术的核心；2）外围技术^[13]，主要包括刀具系统、管理技术和编程技术等；3）机床，主要包括床身、主轴箱、工作台、刀库架、安全设施、导轨等配套件。

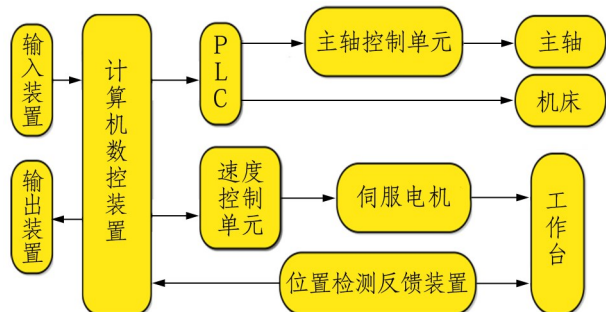


图1 数控系统构成

Fig.1 Structure of numerical control technology system

数控技术特点^[14-16]：1）多样性。数控技术应用于多种类型的机床，包括锯床、刨床、铣床、钻床、车床等。2）高效性。数控设备搭配了自动调速、换刀、对刀及其他自动化功能，与传统普通机床相比，极大地缩短了人工操作时间，且数控加工过程稳定。3）智能化。工件材料多种多样，不同材料的切削性能差异较大，数控机床的智能系统可以根据工件的材料特性对工艺参数进行合理优化，如加工路径、危险预判、工艺规划、加工模拟、智能换刀等，动态调整设备加工状态，提高加工过程的适应性。4）高精度。定位精度和

加工精度是数控技术的重要评价指标，在当前机械加工高精度的要求下，数控加工技术已从微米级、亚微米级发展至纳米级精度。

1.2 数控机床的分类及特点

自动化数控技术催生了高精度机床，尤其是数字控制机床，简称数控机床，是基于机械制造技术和控制技术发展起来的自动化设备^[17-18]。通用数控机床的品种规格很多，分类方法各不相同。一般可根据其功能和结构进行分类，主要包括4类：1）控制原理，开环系统控制、闭环系统控制和半闭环系统控制；2）运动方式，点位控制系统、直线控制系统和轮廓控制系统；3）工艺用途，钻床、铣床、加工中心等；4）结构形式，门架式、龙门式、悬臂式和C型式等。与传统机床相比，数控机床的结构刚性和抗振性更高，配备了高性能的主轴伺服驱动和进给伺服驱动装置，以及高传动效率、高精度的运动部件和传动装置，保证其强适应性、高精度和高效率。

1.3 数控技术的发展历程

数控技术是以计算机为核心的现代化制造技术，通过数字化、智能化的方式实现加工过程的控制和优化，从而提高加工精度、效率和灵活性。如图2所示，数控技术的发展可以分为3个阶段^[19-21]。1）机械式数控技术阶段：该阶段主要技术革新发生在20世纪50年代，通过机械传动、电子传动和液压传动等方式实现对机床动力系统的控制。2）电子式数控技术阶段：该阶段主要技术革新发生在20世纪60年代和70年代，将计算机控制技术应用到数控系统中，实现了对机床动力系统、运动控制系统和数据处理系统等方面的控制。例如分布式（distributed numerical control, DNC）数控技术、柔性制造系统、NC程序、磁带控制系统等。3）计算机数控技术阶段：该阶段主要技术革新发生在20世纪80年代和90年代，将计算机网络技术、人机交互技术和仿真技术等应用于数控系统中，实现对数控系统的智能化、自动化和网络化等方面的控制。

我国数控技术的研发可追溯到1958年第一台三坐标数控铣床的成功研制，经过近70年的发展，目前我国数控技术逐渐迈入国际市场竞争中^[22-24]。

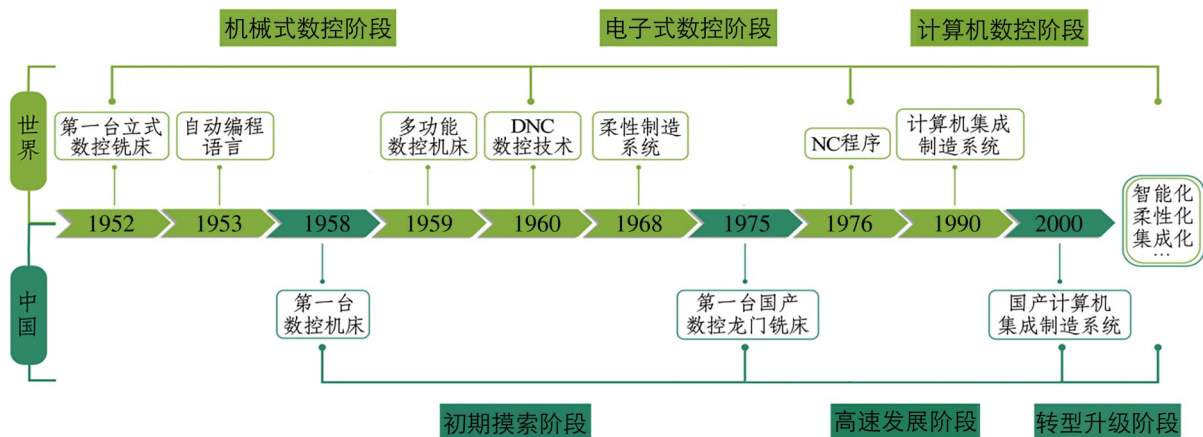


图2 数控技术发展历程

Fig.2 History of numerical control technology development

如图2所示，我国数控技术的发展历程亦可分为3个阶段。1) 初期摸索阶段（1958—1978年）：从1958年第一台国产数控机床到1975年第一台国产数控龙门铣床的成功研制^[25]，我国的数控技术属于摸索阶段，缺乏国际交流合作，技术开发及产业发展缓慢，基本上处于封闭的状态。2) 高速发展阶段（1978—2000年）：通过学习国外的先进技术，攻克了多项技术难题，开发了立式加工中心、卧式加工中心，以及数控车床、数控铣床等多种数控机床。此外，以加工中心为基础，研制了柔性制造单元（flexible manufacturing cell, FMC）和柔性制造系统（flexible manufacturing system, FMS），在一定范围内探索实施了计算机集成制造系统（computer integrated making system, CIMS），搭建了数控技术产业体系并推进其产业化，形成独立生产和关键配套能力。3) 转型升级阶段（2000年至今）：随着计算机技术的进步，我国数控技术高速发展，制造业随之进入转型升级的阶

段，专用型封闭式开环控制模式被舍弃，通用型开放式实时动态全闭环控制模式成为新发力点。目前，基于现代数控技术，集现代控制技术、信息处理技术、计算机技术、传感技术等于一体，数控技术不断革新和发展，实现制造业的智能化、柔性化、集成化。

2 数控技术在家具制造中的应用

现代数控技术在家具制造业的广泛应用，得益于“中国制造2025”、德国“工业4.0”、美国“工业互联网”等战略的提出。以目前工业化和智能化程度最高的板式家具生产为例（图3），数控技术在传统机械制造技术的基础上，集计算机辅助设计/工艺规划/制造（computer aided design / computer aided process planning / computer aided manufacturing, CAD/CAPP/CAM）、FMS、CIMS等技术，已全面应用于板式家具开料、封边、钻孔等工序中^[26-28]。

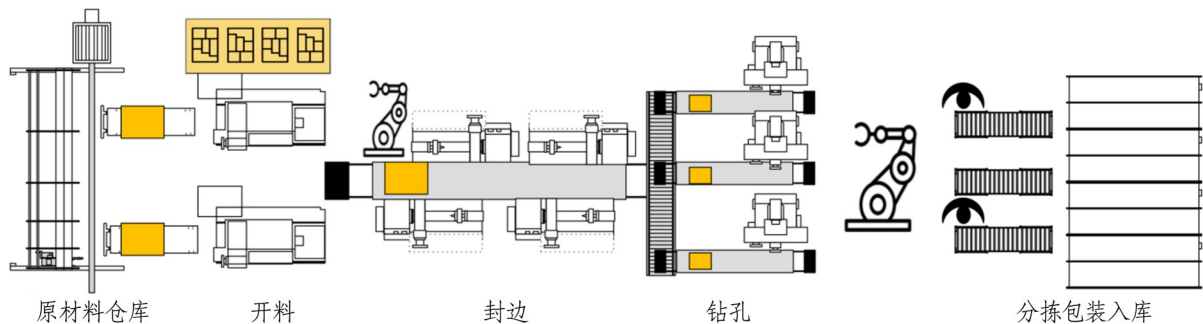


图3 板式家具制造工序

Fig.3 Panel furniture manufacturing process

2.1 开料工序

开料是将家具板材裁切至零部件尺寸的过程,目前最常用的数控设备为电子开料锯,又称数控裁板锯。以全自动化电子开料锯为例,其主要包括锯切主机、传送台、机械手、料仓和标签打印机等单元。在开料前,组批开料计划信息通过企业制造执行系统(manufacturing execution system, MES)传输到开料锯中,包括排样图、原料板件数量及属性等信息,方便统一管理。在开料过程中,电子锯读取锯切批次方案,机械手将板件推至工作台进行精准裁切。根据叠板厚度,电子锯主轴转速一般为9 000 r/min,进给速度为0~150 m/min,每min可完成1~2块大板(1 220 mm×2 440 mm)的锯切。每块裁切的板件都有一张唯一身份标签,统一堆放后送至指定缓存区域或进入下道封边工序^[29]。

2.2 封边工序

为提高家具的美观性和稳定性,板式家具需要采用高分子聚合物进行封边处理。直线封边机、曲线封边机、异形封边机等是目前生产常用的数控加工设备。以全自动化四连线封边机为例,其主要由机械手、激光探头、输送辊、四台直线单边封串联组成。在封边前,机械手抓取裁切完成的板件放在输送辊上,板件通过输送辊经过条码阅读器,读取板件尺寸、封边条颜色、胶黏剂类型等信息,为后续封边工序自动做出相应的调整。依据板式家具生产现状,封边机传送带速度为18~35 m/min,预铣转速9 000 r/min,跟踪铣速度25 m/min。在封边工序的出料口,由质检员或机器视觉识别完成封边质量的检测,送至指定缓存区域或进入下道钻孔工序^[30]。

2.3 钻孔工序

连接件作为板式家具组装不可或缺的配件,影响板式家具的整体结构性能。因此,完成封边的各个板式部件需要通过钻孔工序来加工安装孔和定位孔。目前常用的数控钻孔设备主要包括:单臂式数控加工中心、龙门架数控加工中心、卧式数控钻孔中心和立式数控钻孔中心等。

以全自动化钻孔机为例,其由多台钻孔机组成,如多台四面钻和六面钻共同组成一个钻孔加

工单元。钻孔连机通过MES云端数据库共享当日批次所有板件加工信息以及程序,可使一个批次的所有板件由多台钻孔机协作完成。钻孔前,板件通过条码阅读器读取板件标签信息,包括板件尺寸以及对应孔位信息,然后根据钻孔工艺要求及设备可用性,通过自动化线体为其分配对应的钻孔机。钻孔时,依据不同钻孔机的主轴数量和板件尺寸,可同时对多块板件进行钻孔加工。目前常用的钻头直径有3.0、5.0、8.0、10.0、15.0、20.0、35.0 mm等,主轴转速设定在12 000 r/min左右;根据钻头直径的不同,进给速度设定在3~10 m/min。该参数组合下,钻孔单元每分钟可以完成4~5块板件的加工^[31]。

3 数控技术在家具制造应用的发展策略

目前,我国家具制造数控设备逐渐脱离以进口为主的现状,国产数控设备得到越来越多的青睐,但国产数控设备在精度、产能和智能化上与国外先进设备尚有一定的差距。为推动我国家具制造数控技术的发展,提出如下发展策略。

3.1 开发自适应的数控应用程序

目前,越来越多的复合材料被广泛应用于家具中,多样化的家具材料已积累了大量的生产数据。基于生产数据,可创建加工数据库,以信息技术为基础,应对不同的尺寸及工艺参数要求,开发自适应的数控应用程序。应对不同材料的家具生产时,可通过关键词的输入,选择适配度较高的加工程序数据,调整修改后直接应用。自适应程序通过数据库资料的调用,实现自动化的生产。此外,基于网络系统,应用程序可将所有与生产相关的数据收集在云平台,通过手机APP或电脑客户端跨区域访问数据,包括:零件清单、装配信息、图纸和生产计划,同时亦可实时编辑和输入,实现跨区域远程操控。

3.2 促进数控技术多元化发展

随着市场竞争的不断升级,以“个性化定制,柔性化生产”为主旋律的家具智能制造促进了数控设备的多元化发展^[3,28],包括:自动化、高精度化、高速化、柔性化、智能化、集成化等。目前,家具制造设备加配了全方吸盘、多刀头、自动换

刀等功能,已基本上满足各类家具的生产。如意大利比雅斯(Biesse)集团的WinLine加工中心以模块化为基础,集成到多个单元中,实现异型板件的自动定位、上料和下料;德国威力(Weinig)集团的ZENTREX 6220重型电子开料锯通过搭配CNC高速伺服驱动系统,实现了极高加工精度的同时,可搭配多种自动仓储系统使用,满足大批量锯切需求;弘亚数控集团的KE-588HL封边机搭配了“12+12”通道伺服送带,通过扫描系统为待加工零件匹配合适的加工工艺,伺服送带根据加工工艺为零件切换不同的封边带,实现了柔性智能切换工艺。家具制造数控设备的多元化发展不仅促进了厂家之间的良性竞争,也推动了数控技术的革新。我国家具行业虽然已在世界立足了自己的市场,但数控集中化控制技术仍是限制我国家具制造行业发展的关键问题之一,亦是我国家具制造行业后期的努力方向。

3.3 搭建数字化管控平台

数字化管控是当前数控技术的发展趋势,不仅提高生产效率,而且为企业运营决策提供数据依据^[2,5]。面向大规模定制家具生产,企业可以根据自身需求搭建数字化管控平台,完善网络系统,实时监控各设备的运行状态。如数字化管控平台可根据机床的能耗时效来评判设备的刀具磨损状态,通过提示相关工作人员提前做好换刀准备,从而减少非生产性机器停机时间。此外,通过数字化管控平台,可收集各个订单的生产数据,分析不同工序对生产产能及产品质量的影响,基于大数据的反馈,寻求最优的加工工艺,确保加工效率及质量全面提升。如德国豪迈(Homag)集团开发了“脉云”系统,通过刀具信息采集、订单数据采集等模块实时监控各设备运行状态,以关键绩效指标(key performance indicator, KPI)为指标,提供生产优化和解决方案。

4 结语

制造业在我国国民经济中占有主体地位,发展数控技术是实现制造强国的重要途径。目前,我国家具制造领域数控技术虽然取得了成绩,但在信息集成和管控技术上仍有不足。未来,数控

技术将具有网络化、智能化、集成化等特点,开发自适应的数控应用程序、提升数控多元化和搭建数字化管控平台是促进数控技术发展的关键。因此,面向家具智能制造,在保证数控设备及硬件的基础上,应加强家具数控技术的创新力度,促进家具制造行业的转型升级,打造具有国际竞争力的制造业。

参考文献:

- [1] 刘颖. 基于制造业信息化的先进技术与应用浅析[J]. 锻压装备与制造技术, 2021, 56(6): 135-137.
LIU Y. An analysis of the technology and application based on manufacturing informationization[J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2021, 56(6): 135-137.
- [2] 朱剑刚, 吴智慧, 黄琼涛. 家具制造企业信息集成平台构建技术研究[J]. 林业工程学报, 2019, 4(3): 145-151.
ZHU J G, WU Z H, HUANG Q T. Constructing technology of enterprise information integration platform for furniture manufacturing enterprise[J]. Journal of Forestry Engineering, 2019, 4(3): 145-151.
- [3] XIONG X Q, MA Q R, YUAN Y Y, et al. Current situation and key manufacturing considerations of green furniture in China: a review[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 267: 121957.
- [4] 中华人民共和国2022年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL] (2023-02-28). http://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202302/t20230228_1919011.html.
- [5] 吴智慧. 工业4.0时代中国家居产业的新思维与新模式[J]. 木材工业, 2017, 31(2): 5-9.
WU Z H. New thinking and new models of the Chinese home furnishings industry in the industry 4.0 era[J]. China Wood Industry, 2017, 31(2): 5-9.
- [6] 熊先青, 吴智慧. 家居产业智能制造的现状与发展趋势[J]. 林业工程学报, 2018, 32(6): 11-18.
XIONG X Q, WU Z H. Present situation and development trend of intelligent manufacturing in home furnishing industry[J]. Journal of Forestry Engineering, 2018, 32(6): 11-18.
- [7] 刘垚彤, 吴智慧. 中国定制家居行业现状与发展趋势[J]. 家具, 2019, 40(5): 1-4.
LIU Y T, WU Z H. Analysis of current situation and development trend of customized home furnishing industry in China[J]. Furniture, 2019, 40(5): 1-4.
- [8] 王眇, 张振明, 李龙, 等. 数控技术发展状况及在智能制造中的作用[J]. 航空制造技术, 2021, 64(10): 20-26.
WANG M, ZHANG Z M, LI L, et al. Development of CNC technology and its role in intelligent manufacturing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2021, 64(10): 20-26.
- [9] 文广, 马宏伟. 数控技术的现状及发展趋势[J]. 机械工程师, 2003(1): 9-12.
WEN G, MA H W. Status and developing trend of NC technology[J]. Mechanical Engineer, 2003(1): 9-12.
- [10] 汪子卜, 朱兴微, 何盛, 等. 数控木工机床发展综述[J]. 林业机械与木工设备, 2012, 40(11): 8-13.
WANG Z B, ZHU X W, HE S, et al. Summary of development of CNC woodworking machine tool[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2012, 40(11): 8-13.

- [11] 王皓. 数控技术在木材加工装备中的应用[J]. 南方农机, 2019, 50(8): 196.
- [12] 赵明. 开放式数控系统的设计与应用[J]. 微型电脑应用, 2019, 35(11): 48-50.
ZHAO M. Design and application of open CNC system[J]. Microcomputer Applications, 2019, 35(11): 48-50.
- [13] 丁娜仁花, 宋时兰, 王太勇, 等. VB环境下刀具数据库管理系统的开发[J]. 机床与液压, 2007, 35(4): 193-195.
DING N R H, SONG S L, WANG T Y, et al. Research on developing tool database management system with VB[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2007, 35(4): 193-195.
- [14] ZHU Z L, GUO X L, Ekevad M, et al. The effects of cutting parameters and tool geometry on cutting forces and tool wear in milling high-density fiberboard with ceramic cutting tools[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 91(9): 4033-4041.
- [15] 刘红欣. 各向异性材料(木材)的单轴拉伸和压缩实验[J]. 实验技术与管理, 2007(10): 259-260, 267.
LIU H X. Uniaxial tension and compression experiments for anisotropic wood materials[J]. Experimental Technology and Management, 2007(10): 259-260, 267.
- [16] 刘洋. 数控技术在机械制造中的应用研究[J]. 流体测量与控制, 2022(1): 29-31.
LIU Y. Research on the application of numerical control technology in machinery manufacturing[J]. Fluid Measurement & Control, 2022(1): 29-31.
- [17] 宋春华. 数控技术的现状及发展趋势[J]. 装备制造技术, 2011(3): 114-117.
SONG C H. Status and developing trend of NC technology[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2011(3): 114-117.
- [18] 程黎, 龚玉英. 机械加工技术中数控加工的应用[J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58(10): 130-132, 137.
CHENG L, GONG Y Y. Research on the application of NC machining in machining technology[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2022, 58(10): 130-132, 137.
- [19] 叶佩青, 张勇, 张辉. 数控技术发展状况及策略综述[J]. 机械工程学报, 2015, 51(21): 113-120.
YE P Q, ZHANG Y, ZHANG H. Review on the development and strategies of CNC technology[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(21): 113-120.
- [20] 洪涛. 数控技术及其在智能制造中的作用探讨[J]. 中国设备工程, 2022(19): 33-35.
HONG P. Numerical control technology and its role in intelligent manufacturing[J]. China Plant Engineering, 2022(19): 33-35.
- [21] 杨建武. 国内外数控技术的发展现状与趋势[J]. 制造技术与机床, 2008(12): 57-62.
YANG J W. Development status and trends of NC technology at home and abroad[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2008(12): 57-62.
- [22] 徐伟. 机械自动化制造中的数控技术应用[J]. 中国高新科技, 2021(12): 106-107.
XU W. The application of numerical control technology in mechanical automation manufacture[J]. China High and New Technology, 2021(12): 106-107.
- [23] 马登金. 数控技术在机械制造中的应用[J]. 新型工业化, 2020, 10(5): 54-55.
MA D J. Application of numerical control technology in mechanical manufacturing[J]. The Journal of New Industrialization, 2020, 10(5): 54-55.
- [24] XIONG Y L, YIN Z P. Digital manufacturing: the development direction of the manufacturing technology in the 21st century[J]. Frontiers of Mechanical Engineering in China, 2006, 1(2): 125-130.
- [25] 刘强. 数控机床发展历程及未来趋势[J]. 中国机械工程, 2021, 32(7): 757-770.
LIU Q. Development history and future trends of numerical control machine tools[J]. China Mechanical Engineering, 2021, 32(7): 757-770.
- [26] 裴晓涵, 吴智慧, 谢序勤. 工业4.0理论下板式定制家具生产线典型设备和布局[J]. 家具, 2022, 43(2): 117-121.
PEI X H, WU Z H, XIE X Q. Typical equipment and layout of customized panel furniture production line based on industry 4.0 theory[J]. Furniture, 2022, 43(2): 117-121.
- [27] 袁莹莹, 熊先青, 龚建钊. 基于ERP与MES信息交互的板式定制家具揉单排产技术[J]. 木材科学与技术, 2021, 35(4): 30-35.
YUAN Y Y, XIONG X Q, GONG J Z. Mixing and scheduling technology based on information interaction between ERP and MES for customized panel-furnitures[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2021, 35(4): 30-35.
- [28] 熊先青, 岳心怡, 马莹. 基于成组技术的家具制造车间整厂物流规划[J]. 木材科学与技术, 2022, 36(1): 29-35.
XIONG X Q, YUE X Y, MA Y. Whole plant logistics planning of furniture intelligent manufacturing based on group technology[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2022, 36(1): 29-35.
- [29] 闫晓峰. 板式家具全自动化电子开料锯的研究[J]. 林业机械与木工设备, 2021, 49(11): 17-19.
YAN X F. Research on fully automatic electronic cutting saw for panel furniture[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2021, 49(11): 17-19.
- [30] 娄巧莲, 郝景新, 吴新风, 等. 基于统计过程控制的板式家具封边工序修边质量调控[J]. 林业工程学报, 2021, 6(3): 171-177.
LOU Q L, HAO J X, WU X F, et al. Improvement of panel edge sealing quality during trimming using statistical process control technology[J]. Journal of Forestry Engineering, 2021, 6(3): 171-177.
- [31] 吴智慧, 唐远明. 板式定制家具生产中典型数控钻孔设备分析[J]. 家具, 2020, 41(1): 1-6.
WU Z H, TANG Y M. Typical numerical control drilling machine used in the production of panel-type customized furniture[J]. Furniture, 2020, 41(1): 1-6.

(本文编校 向琴)