

**编者按:** 依托国家“十三五”国家重点研发计划、浙江省“两化融合”、木竹产业技术创新战略联盟等项目, 南京林业大学家居智能制造科研团队进行了定制家居智能制造关键技术研究与实践, 经产学研联合攻关, 突破了定制家居产品智能制造关键技术瓶颈, 研发了定制家居产品数字化设计技术、创制了定制家居柔性制造生产线、搭建了定制家居可视化在线实时管控平台。本刊于2021年系列报道相关研究成果。

## 面向智能制造的板式定制家具柔性生产线 设备配置

李荣荣, 姚倩

(南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037)



**摘要:** 以板式定制家具规模化生产为主线, 通过分析板式定制家具典型生产工艺, 总结柔性制造的关键设备包括仓储设备、数控裁板锯、封边设备、钻孔设备、分拣设备、自动包装设备等, 提出板式定制家具典型柔性生产线设备配置方案, 为企业建立生产线提供参考。

**关键词:** 板式定制家具; 生产设备; 柔性制造; 设备配置

中图分类号: S777; TS64; TS664

文献标识码: A

文章编号: 2096-9694 (2021) 02-0023-07

### Research on Equipment Configurations of the Flexible Production Line for Intelligently Manufacturing Customized Panel Furnitures

LI Rong-rong, YAO Qian

(College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

**Abstract:** The current project analyzes the distinctive flexible manufacturing process of the mass production line for the customized panel furniture. The key equipment of flexible manufacturing including the storage equipment, the CNC cut-to-size saw, the edge banding machine, the drilling machine, the sorting machine, the automatic packaging machine, etc. were summarized. The equipment configuration of flexible production line for customized panel furniture is proposed to provide a reference for customized panel furniture manufacturers.

**Key words:** customized panel furniture; production equipment; flexible manufacturing; equipment configuration

随着现代科技的不断发展以及人民日益增长的美好生活需求, 定制家具满足人们对个性化的

追求, 逐渐成为市场主力军<sup>[1-2]</sup>。板式家具的制造模式已由传统的大规模制造, 向大规模定制生产不断转型升级<sup>[3]</sup>。大规模定制生产模式, 即面向客户的个性化需求, 以大批量生产的低成本、高质量和高效率提供定制化产品和服务的一种生产方式<sup>[4-6]</sup>。柔性制造技术是以计算机工艺信息管理,

收稿日期: 2020-10-21; 修改日期: 2020-11-24

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)。

作者简介: 李荣荣 (1990—), 男, 副教授。Email: lirongrong@njfu.edu.cn

机械数控技术为核心,自动完成多品种、小批量的加工、装配、检测等过程的先进生产技术,能够更好满足家具大规模定制生产模式的需求<sup>[7-8]</sup>。柔性生产线是大规模定制生产中的关键环节,直接影响制造效率、经济效益等指标<sup>[9-10]</sup>。笔者在分析板式定制家具典型生产工艺的基础上,对板式定制家具柔性化生产线关键设备的配置及功能进行总结概述,为板式定制家具企业柔性化生产提供借鉴。

## 1 板式定制家具典型生产工艺

板式定制家具,即以刨花板、中密度纤维板等人造板原料,经过开料、封边、钻孔、表面装饰等工序加工而成的家具。其典型生产工艺流程见图1。根据板式家具结构造型不同,大体可分两类:异型零件(如门板、弧形桌面板等)和平板类矩形零件。其中,门板类零件开料一般通过加工中心进行大板套裁,实现下料、铣型一体化加工,再经过真空覆膜或贴面完成表面装饰加工。

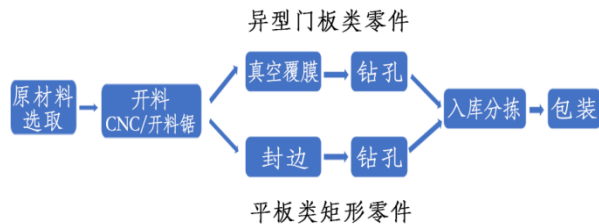


图1 板式定制家具典型生产工艺

Fig.1 Typical production process of the customized panel furniture

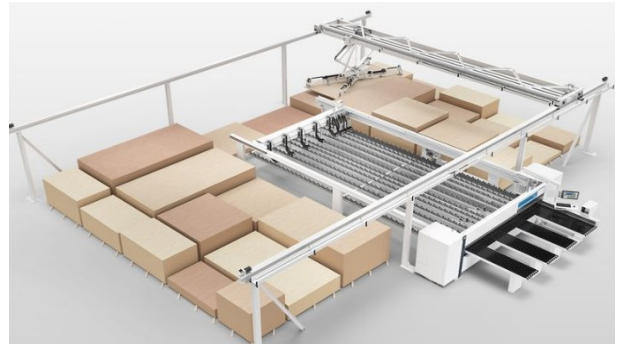
## 2 板式定制家具柔性制造关键设备

### 2.1 板材仓储设备

定制家具制造用板材种类多样,花色各异,对仓储管理方法与仓储设备提出新的要求。目前,主流的仓储模式与设备配置大致分为两类:平面仓库和立体仓库(图2)。

平面仓储系统(图2a)主要由地面托盘和龙门机器人组成,通过物料管理软件利用标准化接口将平面仓库与机器人连接到一起,可以优化运输路线、节省运输时间,实现高度灵活智能物流<sup>[11-12]</sup>。立体仓库(图2b)主体由货架、巷道式堆垛起重机、入(出)库工作台和自动运进(出)装置及操作控制系统等部分组成,采用计算机及

条形码技术实现存取自动化、操作简便化。立体仓库可实现仓库高层空间合理化利用,其高度一般在5 m以上,常见的立体仓库高度在7~25 m之间,具有仓储区域占地面积小、单位面积利用率高、原料仓储容量大等优势,但其结构复杂、货架精度高,对操作人员素质要求高,设备投资大。



a. 平面仓库



b. 立体仓库

图2 家具板材仓储设备

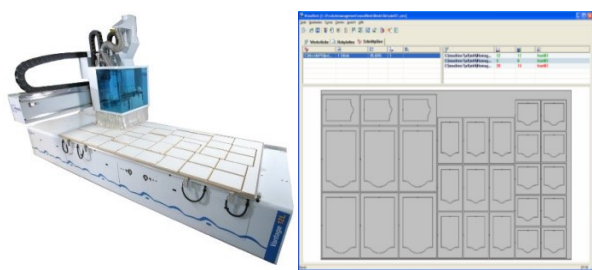
Fig.2 Warehousing equipment for furniture panels

### 2.2 数控裁板设备

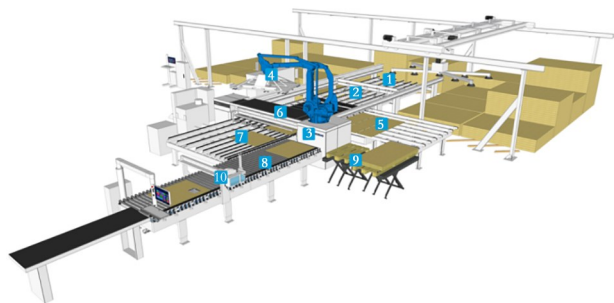
开料,是将标准尺寸的人造板按照工件尺寸要求,裁切成规定尺寸零件的过程。根据批量大小不同,开料设备主要有两种:大板套裁加工中心和数控裁板锯(图3)<sup>[13]</sup>。为实现加工自动化、无人化,上述两种设备均可配备机器人实现自动上下料。

大板套裁加工中心(图3a)是集切割、铣型和钻孔一体的柔性化生产方式,适合小批量、多品种订单和非标准件生产。加工过程中,数据信息直接从CAD/CAM中传送到“大板套材”加工系统中,实现自动裁板、开槽、钻孔和铣型等加工,不仅可以实现直线型零件开料,还可以满足橱柜、衣柜门板等异型零件的开料或表面成型等加工要

求。大板套裁加工中心特点：1) 裁板、开槽和钻孔在一个加工步骤中完成；灵活的切割方式将实现更高的材料利用率；2) 刀具路径优化，使生产效率更高；3) CNC控制，提高裁板和钻孔精度。带机器人上下料的大板套裁加工中心包括：自动上料、自动贴标、机器人下料等模块，并配备优化软件，可以提高板材出材率，优化切割路径，提高加工效率。



a 大板套裁加工中心



1 进料系统;2 推板器;3 机身、锯车和压梁;4 带吸盘的机器人手;  
5 侧进料台;6 再分锯切的工件缓冲台;7 前机身台面;  
8 自动出料滚筒;9 自动堆放台;10 标签打印

b 数控裁板锯

图3 数控裁板设备

Fig.3 The CNC cutting equipment

数控裁板锯(图3b)与机器人配合,实现板材纵横方向锯切,生产过程全自动,重新定义订单生产中的板件流,实现批量化生产条件下的个性化裁切。数控裁板锯配备板材优化系统,提高材料利用率。相较于大板套裁加工中心,数控裁板锯加工效率更高,但仅适用于矩形零件开料。

### 2.3 柔性封边设备

板式定制家具各零件单元尺寸不一、颜色各异,要实现批量化生产,封边机应具备一定的加工柔性,具体体现在满足不同封边材料的要求,适应不同尺寸规格产品的能力、自由切换封边方式等。柔性封边线的每个工作单元都是为提高生产

线灵活性而设计的,如加工操作的快速变化,使用胶黏剂类型(PU/EVA)、封边带类型或封边方式的自由切换等。通过条码识别技术,快速准确获取工件加工信息<sup>[4]</sup>,评估每一个参数并建立相应的封边生产流程,最大程度上减少停机调整时间,保证生产连续性及生产效率(图4)。



图4 多通道直线封边机

Fig.4 The multichannel linear edge sealing machine

板式家具曲线型零件可以通过带封边功能的加工中心实现开料和封边一体加工,进一步提高曲线型零件的加工效率与精度。对于直线型家具零件,由于尺寸不一,一般利用单边封边机通过一定布置形式,满足不同尺寸工件的柔性化封边。具体设备配置主要有:1) 单机+回传装置(图5a);2) U型或H型双机连线(图5b、5c)。单机+回传装置的设备配置,依次完成零件四边封边,相对双机连线效率较低。双机连线柔性封边线(图6),首先完成纵向封边,然后再完成横向封边。工厂在设备配置时可根据厂房面积、产能需求及资金投入,通过两组双机连线串联完成四边封边,也可通过一组双机连线+回传装置完成四边封边。

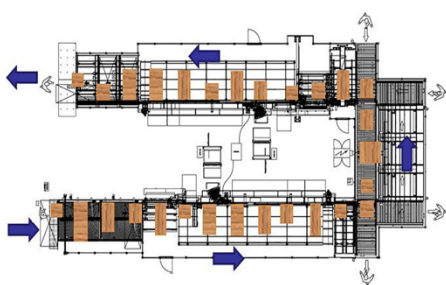
### 2.4 钻孔设备

板式零件上的各类孔起到家具接口与装配定位作用,由于不同零件上钻孔数目、规格不同以及位置各异,对钻孔设备的柔性具有一定要求,传统多排钻、普通钻床已经不能满足大规模定制化生产的需求。常见的柔性钻孔设备如图7所示。

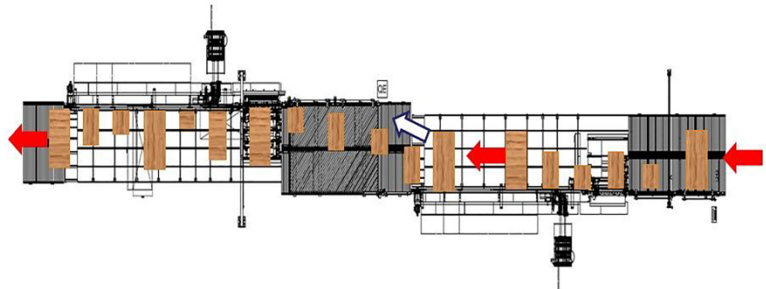
1) 加工中心(图7a):配有刀库,可用于零件数字化钻孔、开槽和铣削加工。零件一次定位,完成多种加工类型。但此类设备属定位加工类机床,工件装夹、定位一般通过人工完成,不方便自动化连线。



a. 单机+回传装置



b U型双机联线



c H型双机联线

图5 直线型零件封边设备

Fig.5 The linear edge bending equipment

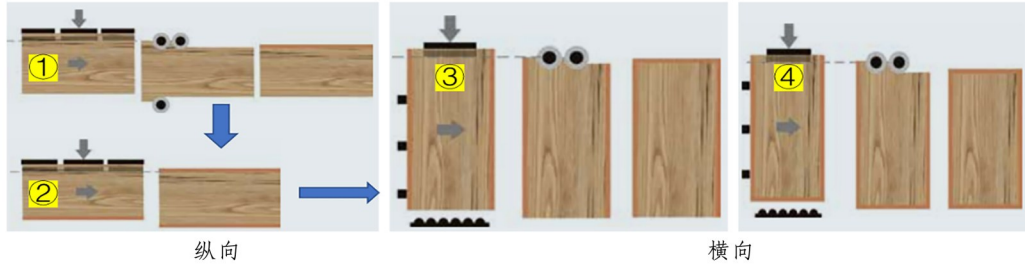


图6 柔性封边示意图

Fig.6 Schematic diagram of flexible edge bending process

2) 通过式钻孔中心 (图7b): 一般用于自动化生产线联线, 通过高速同步进料装置, 实现稳定、精准进料, 零件一次性通过, 完成六面钻孔、开槽和配件安装 (如圆棒榫) 等; 且可对接软件、自动识别零件、零件自动定位, 实现柔性化加工; 具有加工效率高、钻孔精度高等优势。

3) 立式数控六面钻孔中心 (图7c): 一般用于加工小尺寸工件, 占地面积小, 在高度集成的设备上可实现铣型、钻孔和开槽加工。部分设备配备自动吸盘系统, 带钻头快速更换系统的立式高速钻轴, 以及自动换刀的刀具库, 实现工件周边铣型、钻孔以及开槽三种加工作业。此类设备

适用于小型企业或者大企业非标件加工, 难以联线。

4) 卧式数控六面钻孔中心 (图7d): 具有横梁通过式结构, 六面打孔一次性完成, 采用双夹钳定位方式, 根据板材长度自动调节夹钳夹持位置, 垂直钻组+水平钻组+锯片组合, 实现多元化加工。钻孔中心通过与CAM软件对接, 扫码即可加工, 双夹钳自动夹板, 无需针对不同零件进行适应性调整、定位。通过配备自动扫码、自动送料装置以及自动出料系统, 配备回转传输带或工业机器人, 可以对接智能全自动生产线实现无人化生产<sup>[15]</sup>。



图 7 钻孔设备  
Fig.7 Drilling machines

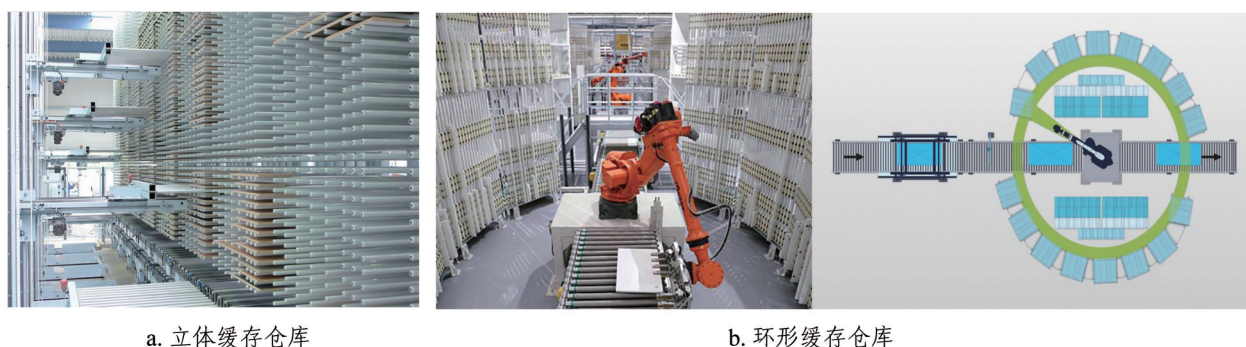


图 8 缓存设备  
Fig. 8The cache warehouse

## 2.5 缓存、分拣设备

缓存设备主要满足生产过程中零件临时存储的目的。线边仓是板式定制家具自动化流水线常用的零件缓存设备之一，主要解决各工段设备产能不完全匹配或临时故障停机等情况出现时，部分工件无法及时流转到下道工序而导致的输送线阻塞等问题<sup>[16]</sup>，其主要形式为立体缓存仓（图 8a）。通过生产过程控制系统与仓储管理系统（WMS 系统）实时分析前后工段生产信息与库存

信息，自动协调各个工段生产节拍，保证生产线持续稳定高效运转<sup>[17-18]</sup>。板式家具定制生产是混流加工，缓冲仓库还可用于归组零件在分拣包装时的缓冲仓储，通过分拣装置将到达的零件自动分离、排序，并暂时缓存于环形或立体缓存仓库中，实现更加透明的物料流，高效准确追踪每个零件的精确位置<sup>[19-21]</sup>。待零件齐套后，通过六轴机器人或立体库进出料装置按照包装清单要求分拣零件，准确率接近 100%，有效避免人工分拣错误，显著

减少发货出错率。一般大零件缓存于立体缓存仓，小零件缓存于环形仓内。

### 2.6 零件自动包装设备

订单拆单后，软件形成包装清单，待零件齐套后，包装工段按照包装清单要求，将分拣过来的零件按次序进行包装。此工段需要的主要设备有纸箱裁切机和纸箱封箱机<sup>[22]</sup>。

纸箱裁切机根据包装清单内零件尺寸定制裁切纸箱大小，实现了包装过程的柔性化，降低了纸箱消耗，同时还能够对产品起到保护，减少运输过程的损伤。

纸箱封箱机在进料区自动检测纸箱尺寸，封箱装置根据每个纸箱的具体尺寸自动进行调节，并采用热熔胶技术完成纸箱封箱。

### 3 典型板式定制家具柔性生产线设备配置

按定制板式家具典型生产工艺，设计柔性生产线设备布置方案如图9所示。生产线主要包括：原材料立体仓储设备、开料设备、线边仓、封边机、钻孔设备、分拣设备和包装设备等。原材料从智能立体原料仓出发，每一块零件经开料、封边、钻孔、分拣、包装等工序，全程不落地，无需人工操作。此柔性生产线不仅工作效率高（日产零件数最高可达40万件左右），而且加工精度高，对角线偏差可以控制在0.5 mm以内。完善的柔性生产线不仅需要柔性化的加工设备，更需要强大的管控平台提供数据支撑，并通过数据接口实现设备间的互联互通，以数据流驱动物料流，最终实现板式定制家具智能制造。

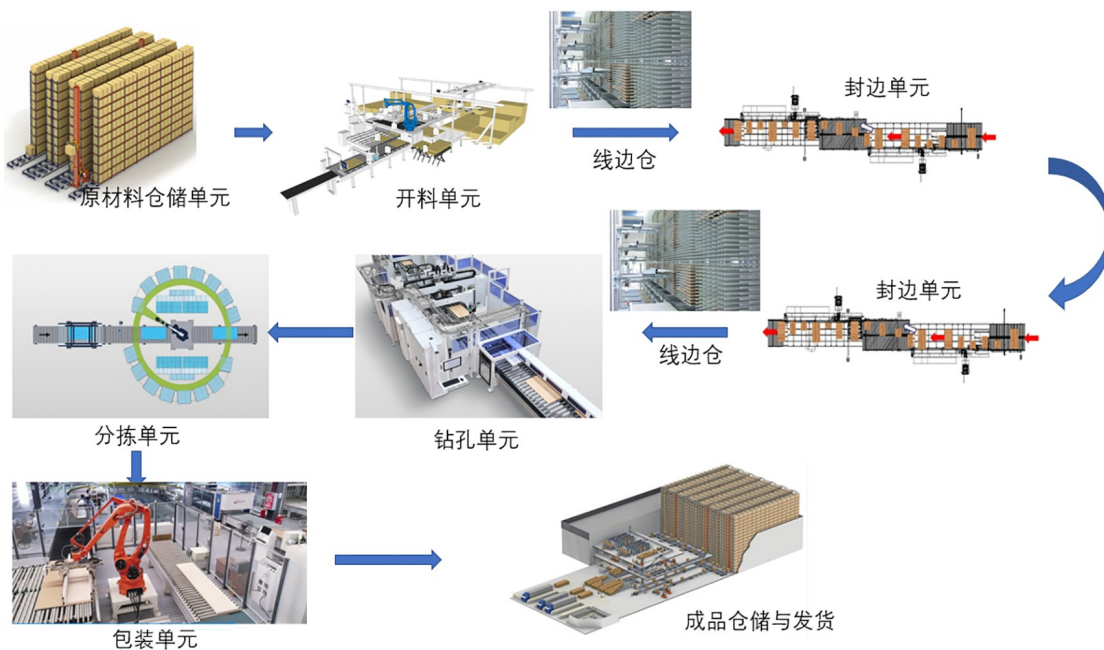


图9 典型柔性生产线设备配置

Fig.9 The flexible production line equipment configuration

### 4 结语

柔性化加工生产线由信息控制系统、物料储运系统和数字控制的制造设备组成，是板式定制家具企业制造环节中的重要组成部分，对于加工效率、加工成本、以及产品质量影响显著。柔性化生产线设备配置时需综合依据产品批量、类型、结构等要素，综合考虑资金预算，合理选配关键设备的数量、类型进行产线布局，方能提高小批量多品种工件加工效率，并能及时制造出个性化

产品以满足不断变化的市场需求。面向智能制造，除设备配置等基础硬件研究外，基于信息物理系统（CPS）、物联网等新兴技术，进一步开展设备接口、智能控制、工厂全息建模等技术研究，能够实现人机交互、设备互联以及设备数字化管控，促进家居产品智能制造技术不断成熟。

### 参考文献：

- [1] 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.
- [2] 周橙旻,冷超霞,吴智慧,等. 基于色彩调和理论的定制衣柜配色量化评价分析[J]. 林业工程学报, 2020, 5(6): 168-173.
- ZHOU C M, LENG C X, WU Z H, et al. Quantitative evaluation and analysis of color matching for customized wardrobes based on color harmony theory[J]. Journal of Forestry Engineering, 2020, 5(6): 168-173.
- [3] 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.
- [4] 熊先青,马清如,袁莹莹,等. 面向智能制造的家具企业数字化设计与制造[J]. 林业工程学报, 2020, 5(4): 174-180.
- XIONG X Q, MA Q R, YUAN Y Y, et al. Digital design and manufacturing of furniture enterprises oriented to intelligent manufacturing[J]. Journal of Forestry Engineering, 2020, 5(4): 174-180.
- [5] 张会,徐伟,詹先旭. 智能家居背景下智能家具的发展现状与趋势[J]. 林业机械与木工设备, 2020, 48(4): 8-10, 21.
- ZHANG H, XU W, ZHAN X X. Development status and trend of intelligent furniture against the background of the smart home[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2020, 48(4): 8-10, 21.
- [6] 韩静,吴智慧. 板式定制家具企业制造执行系统的构建与应用[J]. 林业工程学报, 2018, 3(6): 149-155.
- HAN J, WU Z H. Construction and application of manufacturing execution system for panel customized furniture enterprises[J]. Journal of Forestry Engineering, 2018, 3(6): 149-155.
- [7] Tian Chenghua, Jia Pei, Yuan Junfeng, et al. Application of integrated manufacturing system of flexible production line in spacecraft manufacturing line[J]. Journal of Physics Conference Series, 2020, 1549(3): 032103.
- [8] He C, Guan Z L, Xu G Y, et al. Scenario-based robust dominance criteria for multi-objective automated flexible transfer line balancing problem under uncertainty[J]. International Journal of Production Research, 2020, 58(2): 467-486.
- [9] 曹平祥,王福臻. 板式家具数字化制造技术浅谈[J]. 木材工业, 2013, 27(1): 35-38.
- CAO P X, WANG F Y. Application of digital manufacturing technology in panel furniture industry[J]. China Wood Industry, 2013, 27(1): 35-38.
- [10] 熊先青,刘慧,庞小仁. 大规模定制家具柔性制造系统构建与关键技术[J]. 木材工业, 2019, 33(2): 20-24.
- XIONG X Q, LIU H, PANG X R. Flexible manufacturing system for mass customization manufacturing in furniture industry[J]. China Wood Industry, 2019, 33(2): 20-24.
- [11] 方正,余肖红,沈利铭. 板式定制家具来料质量管理信息化系统的构建[J]. 家具, 2020, 41(3): 70-74.
- FANG Z, YU X H, SHEN L M. Construction of quality management information system of incoming material in customized panel furniture enterprise[J]. Furniture, 2020, 41(3): 70-74.
- [12] 郭焱阳. 板式定制家具智能仓储系统开发及应用[D]. 广州: 华南农业大学, 2018.
- [13] 吴智慧,沈忠民. 板式家具生产中典型开料与裁板设备[J]. 家具, 2019, 40(6): 1-4, 29.
- WU Z H, SHEN Z M. Typical techniques and equipment of cutting and sawing in the production of panel-type furniture[J]. Furniture, 2019, 40(6): 1-4, 29.
- [14] 熊先青,袁莹莹,潘雨婷,等. 基于揉单生产的定制家居自动识别与智能分拣技术[J]. 林业工程学报, 2020, 5(6): 162-167.
- XIONG X Q, YUAN Y Y, PAN Y T, et al. Automatic identification and intelligent sorting technology of customized home furnishing based on mixed production[J]. Journal of Forestry Engineering, 2020, 5(6): 162-167.
- [15] 李荣荣,徐伟,熊先青,等. 工业机器人在家具行业的应用现状研究[J]. 林业机械与木工设备, 2018, 46(12): 32-34, 55.
- LI R R, XU W, XIONG X Q, et al. Research on the application status of industrial robots in the furniture industry[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2018, 46(12): 32-34, 55.
- [16] 尹中. 智能输送系统在柔性制造技术中的应用[J]. 内燃机, 2020(2): 25-27, 31.
- YIN Z. Application of intelligent transportation system in flexible manufacturing technology[J]. Internal Combustion Engines, 2020(2): 25-27, 31.
- [17] 林焯,陈庆新,毛宁. 板式家具高速自动分拣系统出库及打包调度策略[J]. 计算机集成制造系统, 2020, 26(7): 1843-1854.
- LIN X, CHEN Q X, MAO N. Outbound and packing scheduling strategy of panel furniture high-speed automatic sorting system[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2020, 26(7): 1843-1854.
- [18] 李爽,徐伟. 板式家具生产物流管理研究[J]. 家具与室内装饰, 2019(11): 66-67.
- LI S, XU W. Analysis on production logistics management in plate furniture production[J]. Furniture & Interior Design, 2019(11): 66-67.
- [19] 彭文文,熊先青,卢希珍,等. 定制家具企业生产中智能分拣系统的应用研究[J]. 家具与室内装饰, 2020(2): 68-70.
- PENG W W, XIONG X Q, LU X Z, et al. Application of intelligent sorting system in custom furniture enterprise production[J]. Furniture & Interior Design, 2020(2): 68-70.
- [20] 刘慧,熊先青,于克,等. 板式定制家具智能分拣系统关键技术架构[J]. 木材工业, 2019, 33(6): 33-37.
- LIU H, XIONG X Q, YU K, et al. Technical framework of smart sorting system for making customized panel furniture[J]. China Wood Industry, 2019, 33(6): 33-37.
- [21] 毕海波,林国湘. 大规模定制家具板材自动分拣系统的研究[J]. 制造业自动化, 2015, 37(21): 42-44.
- BI H B, LIN G X. Research on automatic sorting system for large scale custom furniture plates[J]. Manufacturing Automation, 2015, 37(21): 42-44.
- [22] 蔡懿,毛宇轩,王社平,等. 板式家具自动化包装线的设计[J]. 林业机械与木工设备, 2020, 48(1): 36-42.
- CAI Y, MAO Y X, WANG S P, et al. Design of an automatic packaging line for panel furniture[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2020, 48(1): 36-42.

(本文编校 向琴)