

“家居智能制造”专栏 (3) DOI: 10.12326/j.2096-9694.2020125

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。

基于揉单生产的板式定制家具拼托系统设计

牛怡婷¹, 龚建钊², 熊先青^{1,2}

(1. 南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037; 2. 索菲亚家居湖北有限公司, 湖北黄冈 438000)



摘要: 对大规模定制发展趋势下板式家具企业的拼托作业现状进行总结与分析, 提出一种三维坐标系拼托方案; 同时, 结合硬件设备与软件系统构建拼托系统架构, 设计拼托流程, 以期提高柔性制造模式下定制家具企业的拼托效率、托盘利用率、立体仓库货架仓位空间利用率。

关键词: 板式定制家具; 自动化; 柔性制造; 拼托方案; 拼托流程

中图分类号: TS664.01; U169.72 文献标识码: A 文章编号: 2096-9694 (2021) 03-0019-06

Design of Stacking-Material System for Flexible Production of Customized Panel Furnitures

NIU Yi-ting¹, GONG Jian-zhao², XIONG Xian-qing^{1,2}

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

2. Suofeiyi Home Collection Co., Ltd., Huanggang 438000, Hubei, China)

Abstract: The panel furniture manufacturing has developed tremendously into mass production of customization. The current status of panel furniture manufactures were summarized and the stacking material system was analyzed. A three-dimensional coordinate system scheme was proposed. Combined with the hardware equipment and software system, a schematic structure of the system was established; and the sorting process was planned. The application of the system aims to improve the efficiency of palletizing, the utilization rate of pallets, and the utilization rate of shelf space in the three-dimensional warehouse under the flexible manufacturing mode.

Key words: customized panel furniture; automation; flexible manufacturing; stacking plan; stacking process

收稿日期: 2020-08-14; 修改日期: 2021-04-22

基金项目: 江苏省研究生培养创新工程 (SJCX20_0276); 国家木竹产业技术创新战略联盟课题“实木整装家居数字化设计与制造技术集成” (Tiawbi202010); “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: 牛怡婷 (1996—), 女, 硕士研究生。Email: 1280382767@qq.com

通讯作者: 熊先青, 男, 教授。Email: xiongqianqing@njfu.edu.cn

随着人们生活方式的改变与质量的提升, 消费者对个性化的需求逐渐增加, 低成本、高效率、短交货周期成为企业竞争的主要优势^[1-3]。大规模定制能够同时实现消费者与企业的需求^[4]。对于家具制造业而言, 定制意味着零部件的多样化, 柔性化生产模式通过对所有订单进行融合-拆分与分

拣-零部件拼托,能够保证规模化制造的高效率与高质量^[5-7]。关于柔性化生产的研究主要集中于前端揉单以及中后端分拣;零部件拼托作为物料输送流程中的重要环节,目前却鲜有研究。拼托的效率与质量成为制约物料输送过程中其他环节工作进程以及物流整体协调性的重要因素^[8-10]。

鉴于此,南京林业大学家居智能制造科研团队在前期对数字化设计技术与柔性化生产设备进行研究的基础上,继续开展了针对家具企业成品物料管理的研究^[11-12]。为解决拼托作业环节的效率问题,笔者在板式家具企业拼托作业现状考察分析的基础上,提出一种基于三维坐标系的拼托方案,并构建拼托系统架构,设计拼托流程,以实现板式家具生产拼托作业的信息化建设和数据化管理,满足大规模定制下的柔性化生产需求,为家居行业数字化转型提供理论指导和技术支撑。

1 板式家具企业拼托作业现状

1.1 拼托的内涵

拼托是将相同属性的物料由分拣拼单口转移至托盘,并按照一定的入库原则与要求重复堆叠的过程,其主体为板材物料包,载体为托盘,使拼托的物料能够稳定、平整地存储在立体仓库的货架中。板式定制家具需要拼托的物料具有以下特征:

- 1) 物料为未经组装的多个产品零部件的组合,幅面尺寸与厚度差异极大;
- 2) 物料与托盘之间属于多对一的关系;
- 3) 需根据物料的属性进行集中出库与装车。

拼托的作用,对于物料而言,能够将同一属性(包括:经销商、交货日期、外观尺寸等)的物料进行集中存储与统一管理;对于入库而言,能够减少入库次数、提高入库效率与仓储空间利用率;对于出库而言,可以避免出库时再进行物料分类,减少出库时间,降低错误率。

1.2 拼托作业现状

经过包装后的板式家具物料包,按订单与批次编号进行分拣与入库。由于板式家具零部件尺寸差异较大,物料包的幅面尺寸、厚度以及重量等有很大差异。传统拼托方式无法匹配板式定制家具企业的柔性化生产模式。

1) 拼托无规律。

在分拣与输送过程中,由于相邻物料包的规格尺寸具有不确定性,人工操作主要依靠经验进行物料包的组合与层叠,且物料包位置一经确定很难进行改变与调整。如同层物料包出现厚度尺寸差异时,常因不能准确判断空间或调整位置,导致托盘整体物料包不稳定,造成安全隐患。

2) 托盘利用率低。

作为物料包的唯一载体,托盘的尺寸与边缘轮廓固定不变,物料包的堆叠摆放既要满足托盘轮廓尺寸以及高度要求,又要满足仓库货架的尺寸以及承重要求。而拼托流程的不规律,决定了每层物料包堆叠时托盘空间的利用率具有不确定性。

3) 仓位空间利用率低。

拼托物料的数量以及堆叠高度,取决于立体货架仓位空间的尺寸以及最佳承重量。传统拼托工序主要依靠操作员的经验与熟练度,不能保证拼托时托盘每层空间都能够得到合理的利用且利用率达到最佳值,直接导致托盘需求量不必要的增加。托盘与货架仓位之间为一对一的关系,托盘数量的增加使仓储整体空间的利用率降低,管理成本以及物料输送时的时间与人工成本增加,订单的出货周期延长。

4) 拼托效率低。

传统分拣拼单流程中物料输送的依据为订单所属经销商与出货日期,而实际对拼托作业影响更大的是物料包的外形尺寸与轮廓。人工拼托时需要根据实际物料包的幅面尺寸与厚度对最佳拼托位置做出判断,再进行物料的转移。当出现更优的拼托方式时,往往需要花费大量时间改变物料包的位置,以保证托盘空间的利用率和拼托安全性。

5) 信息透明度低。

大规模定制下的板式家具企业,每天分拣拼托入库的板材物料包数量极大,而拼托人员无法直观地了解物料相关信息(订单信息、尺寸参数、出货日期、物料拼托状态、托盘状态、物料剩余量等),就不能对现场物料、设备等相关状况做出准确的判断与及时的决策,一旦出现问题往往滞留时长较长,降低板材物料的入库效率,甚至影响订单的交货周期。

2 基于柔性制造的三维坐标系拼托方案设计

2.1 设计思路

为解决传统拼托作业方式下信息透明度低、托盘与仓储空间利用率低等问题，本研究提出一种基于三维坐标系的拼托方案。其中，坐标系中的 X 轴方向平行于托盘载体短边一侧，以接近拼托员操作位置的一侧为正向； Y 轴方向平行于托盘载体长边一侧，以拼托员面向托盘时的右手一侧为正向； Z 轴方向平行于板材物料包整体堆叠方向，以堆叠方向为正向； XY 轴方向组成的平面平行于托盘载体以及板材物料包的幅面尺寸， X 轴与 Y 轴互相垂直， Z 轴方向垂直于 XY 轴组成的平面，如图1所示。

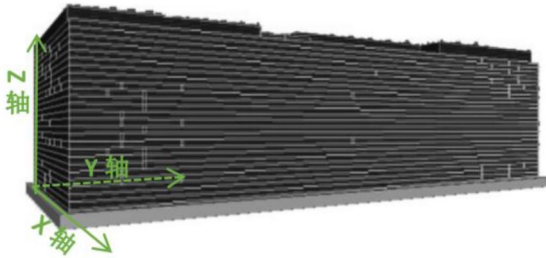


图1 托盘三维坐标系示例

Fig.1 A three-dimensional coordinate system of palletizing

2.2 确定参数

按照物料包的尺寸参数，以 XYZ 坐标轴为参考，对同一订单中的所有物料进行分类。考虑到拼托工作由人工完成，单个物料包中的板材零部件数量由板材 XY 轴幅面尺寸、单件板材重量以及包装便捷性等因素共同决定。当板材零部件 XY 轴幅面尺寸极小或极大时，将其归为极小型或大型板材，每件物料包为单件板材零部件包装，最终物料包的 Z 轴尺寸为单件人造板厚度与两倍纸包装的厚度之和，设为 Z_1 ；当板材零部件 XY 轴幅面尺寸较大时，将其归为中型板材，每件物料包内包含两层板材零部件，最终物料包的 Z 轴尺寸为两倍人造板厚度与两倍纸包装的厚度之和，为 Z_2 ；当板材零部件 XY 轴幅面尺寸较小时，将其归为小型板材，每件物料包内包含三层板材零部件，最终板材物料包厚度为三倍人造板厚度与两倍纸包装厚度之和，为 Z_3 。

具体参数与分类情况列于表1。

表1 板材物料包尺寸对应参数

Tab.1 Corresponding parameters of panels' package sizes

序号	XY 轴幅面尺寸	Z 轴尺寸
1	极小型	Z_1 :单件人造板厚度与两倍纸包装的厚度之和
2	大型	
3	中型	Z_2 :两倍人造板厚度与两倍纸包装的厚度之和
4	小型	Z_3 :三倍人造板厚度与两倍纸包装的厚度之和

2.3 拼托方案设计

首先，以载体托盘 XY 轴幅面尺寸以及外部轮廓为参照，对订单中 Z 轴尺寸为 Z_1 的板材物料包进行排版优化，要求每层物料包边缘轮廓在托盘范围内，且 XY 轴面积之和与托盘面积之间差值最小。当托盘 XY 轴面积利用率低于一定程度时，将其归于剩余物料包中，统计出除剩余板材物料包外，已排版优化物料包的堆叠层数为 N_1 。其次，按照同样的原则与方法，对 Z 轴尺寸为 Z_2 与 Z_3 的板材物料包进行排版优化，统计出除剩余板材物料包外，经排版优化板材物料包的堆叠层数分别为 N_2 、 N_3 。最后，对剩余物料包的尺寸参数进行统计分析，可能会出现以下三种情况。

1) 剩余板材物料包数量为0。

当剩余板材物料包的数量为0时，表明三种尺寸板材物料包的排版优化中，每层物料包的排版优化对托盘 XY 轴空间的利用率均可达到要求，如图2a所示。

2) 剩余板材物料包中 Z 轴尺寸一致，均为 Z_1 、 Z_2 或 Z_3 。

当剩余板材物料包中只包含一种尺寸，表明另外两种尺寸的板材物料包经排版优化后，每层物料包的排版优化对托盘 XY 轴空间的利用率均可达到要求。此时需要将剩余板材物料包以三维坐标系轴心为起始点进行物料排版，要求所有物料轮廓边缘在托盘范围内，如图2b所示。

3) 剩余板材物料包中包含两种或三种 Z 轴尺寸的物料，情况可能为： Z_1Z_2 、 Z_1Z_3 、 Z_2Z_3 、 $Z_1Z_2Z_3$ 。

当剩余物料包中同时包含两种或两种以上的尺寸类型时，统计所有剩余物料包的尺寸参数，以 XY 轴幅面尺寸为依据，参考托盘 XY 轴幅面尺寸以及外部轮廓进行排版优化，要求物料包最终组成外部轮廓不超过托盘 XY 轴幅面尺寸轮廓，且

物料包 XY 轴幅面尺寸面积之和与托盘 XY 轴幅面尺寸之间相差最小。对第 N 层排版优化的板材物料包的尺寸参数进行统计,同时参考 Z 轴尺寸较小的

板材物料包以及托盘的 XY 轴幅面尺寸与轮廓边界线,进行第 $N+1$ 层板材物料包的排版优化,如图2c、2d所示。

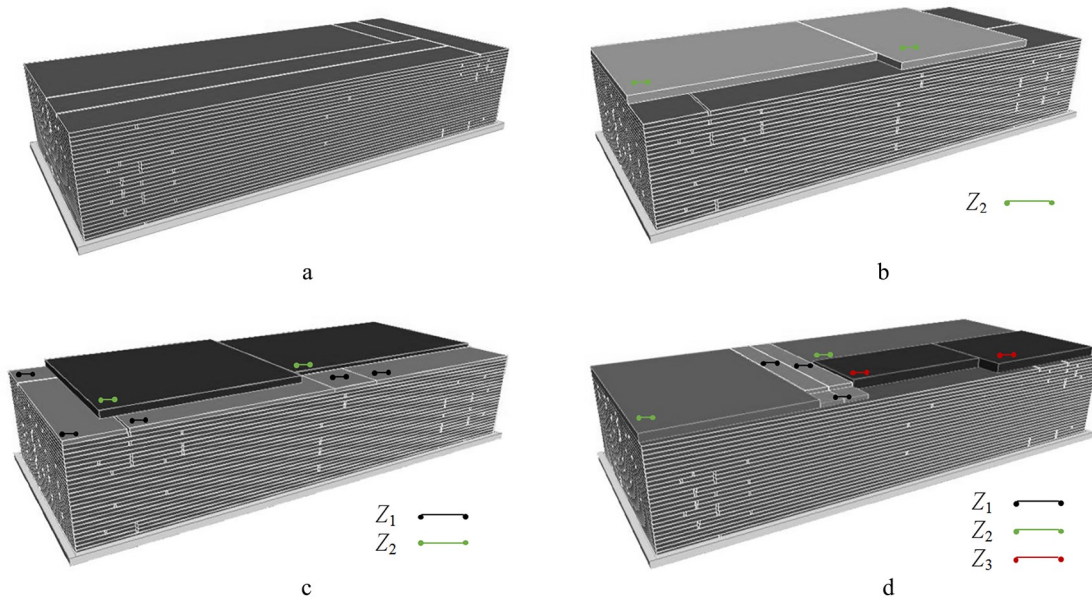


图2 托盘物料包拼托示例

Fig.2 Illustration of stacking examples of panel packages

板材物料包的分拣与拼托流程中,先对相同 Z 轴尺寸的物料包进行堆叠,再对剩余物料包堆叠。其中相同 Z 轴尺寸物料包的分拣与堆叠,按照 Z_1 - Z_2 - Z_3 的顺序依次完成。若某一相同 Z 轴尺寸的物料包堆叠结束时,仍未达到托盘最大堆叠高度,则在此基础上继续进行另一尺寸物料包的堆叠,将两个尺寸的物料包衔接于一个托盘上。

按照三维坐标系拼托方案,每层物料包的分拣输送同样需要一定的规律性与原则性,以减少拼托过程中位置的偏差。每层物料包的分拣输送,应以物料包靠近轴心一侧的 Y 轴外部轮廓与托盘上方靠近轴心一侧的 Y 轴轮廓之间的距离为第一原则,以物料包接近轴心一侧的 X 轴外部轮廓与托盘上方接近轴心一侧的 X 轴轮廓之间的距离为第二原则;距离越小,顺序越靠前。

根据立体仓库货架单位仓位的尺寸以及最佳承重重量,设单位托盘的最大物料堆叠高度为 $Z_{\max}$,综合所有优化排版物料包以及剩余物料包的尺寸规格与数量,根据公式1计算托盘需求量 S 。

$$S = \frac{\left[\sum_{i=1}^3 (N_i * Z_i) \right] + Z_j}{Z_{\max}} \quad (1)$$

式中: S —托盘需求量; Z_j —剩余物料包中 Z 轴尺寸最大值。

当 S 为整数时,最终托盘使用量 $SP=S$;当 S 为分数时, $SP>S$,取大于 S 的最小正整数。

3 应用与实例分析

3.1 拼托流程设计

为实现三维坐标系拼托方案在拼托系统的运行,基于企业的实际生产状态,构建拼托系统的硬件与软件架构平台。其中硬件包括:机械硬件(输送辊筒、传感器、LED显示屏)与电气硬件(输送辊筒PLC控制器、传感器PLC控制器、LED显示屏PLC控制器);软件包括:智能仓储管理系统(Warehouse Manufacturing System, WMS)、智能分拣管理系统、智能仓储控制系统(Warehouse Control System, WCS)。三维坐标系拼托方案通过软件进行信息的传输,通过LED显示屏等硬件进行信息的显示,拼托系统流程如图3所示。

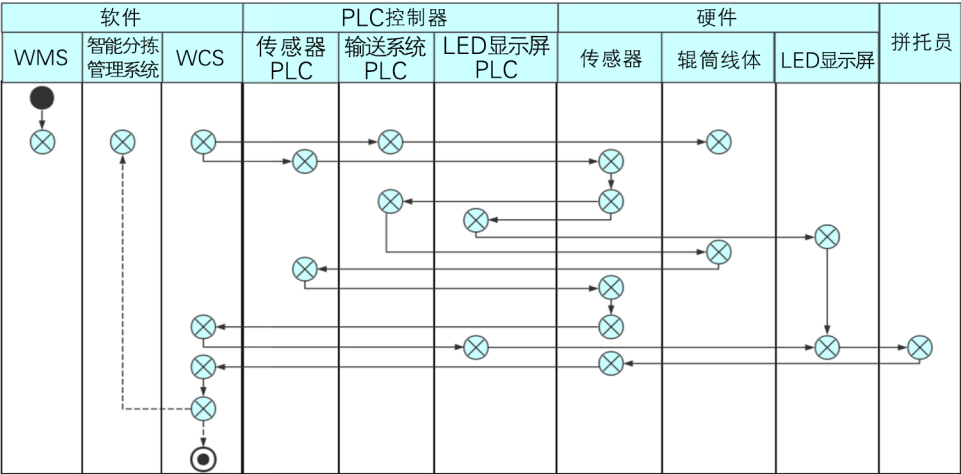


图3 板式家具成品物料拼托流程图
Fig.3 The flow chart of stacking processes of panel packages

首先WMS系统生成拼单总任务，将拼单指令发送给智能分拣管理系统，再逐级向WCS系统、输送系统以及信息采集系统的PLC控制器发送调度指令。

输送系统PLC控制器通过控制输送线的辊筒设备，完成物料向目标位置的转移。同时，信息采集系统PLC控制器通过控制传感器，实现物料包在输送线上的前进、减速及停止等动作，配合输送系统实现物料包由起始位置向目标位置的转移，同时采集物料包（经销商、出货时间、总包数、剩余包数等）信息并反馈至智能分拣管理系统。

接收到反馈信息的智能分拣管理系统，对物料包信息以及状态进行存储，根据物料包位置和信息，分配拼单口以及相应的拼托方案。相应拼单口的LED显示屏PLC控制系统接受调度指令后，对物料包相关信息以及三维坐标系整体拼托方案循环显示，并重点显示物料包具体拼托位置。相应输送系统PLC控制器接受调度指令控制辊筒线体进行物料的输送，当物料到达拼单口后，拼托员根据LED显示屏的拼托方案与物料包拼托位置，将物料从拼单口转移至托盘上。

信息采集系统PLC控制器控制传感器对拼单口物料包信息进行第二次信息采集，将拼单口物料包的存在状态反馈至WCS系统，WCS系统进行物料包以及设备状态的实时更新，并判断本次分拣拼托任务是否结束。若结束，则开始进行新任务的重复循环，直至判断结果为任务完成。

3.2 实例分析

将本系统应用于某企业实际生产中，以经销商所在地为西安、提货日期为8月15日的某订单所含物料包为例：该企业采用传统人工拼托作业，采用的托盘规格为2 900 mm×1 300 mm×180 mm，完成该订单板材物料包的拼托工作总共用了10个托盘，托盘代码及其承载板材物料包的数量统计结果列于表2。

表2 传统人工拼托作业板材物料包数量
Tab.2 Quantities of panel packages by traditional manual operation

托盘代码	1	2	3	4	5
物料包数量/包	18	20	25	34	34
托盘代码	6	7	8	9	10
物料包数量/包	41	32	30	32	31

通过对企业的生产作业状态进行实际调研，基于本研究构建的拼托系统进行方案设计。

1) 对订单中所有物料包按照Z轴尺寸进行分类，不同Z轴尺寸以及对应的物料包数量列于表3；

表3 三维坐标系拼托方案板材物料包数量
Tab.3 Quantities of panel packages by the three-dimensional coordinate palletizing system

Z轴尺寸类型	Z ₁		Z ₂	Z ₃
	极大型	极小型		
参数值/mm	22	22	40	56
物料包数量/包	55	40	133	69
优化层叠/层			44	19
剩余物料包数量/包	1	0	1	0

2) 分别对三种Z轴尺寸的物料进行排版优化,不同尺寸物料包对应的层叠数量以及剩余物料包数量亦列于表3。

3) 计算非剩余物料包中不同Z轴尺寸物料包经过堆叠后的总高度:

$$Z_1=486\text{ mm}; Z_2=1\ 840\text{ mm}; Z_3=1\ 064\text{ mm}。$$

4) 计算包含剩余物料包在内的物料最终堆叠高度,已知托盘最大堆叠高度为680 mm,根据公式1计算托盘需求量:

$$S = \frac{(486 + 1840 + 1064) + 40}{680} \approx 5.04(\text{个})$$

计算结果显示,物料最终堆叠高度与单个托盘最大堆叠高度之间为约数关系,因此,完成本订单所有板材物料包的拼托工作需要使用6个托盘。

通过对比传统拼托方式以及三维坐标系拼托方案下的托盘使用量可以发现,三维坐标系拼托方案下的托盘节省率高达40%,仓库货位空间利用率因此能够得到极大的提升。

4 结语

个性化定制为我国板式定制家具制造业的拼托作业带来了巨大的压力,传统的拼托方式无法满足需求。鉴于此,本研究通过对订单物料参数与拼托作业现状进行分析,提出了一种基于三维坐标系的拼托方案;同时根据企业的实际需求,设计拼托系统构架以及流程。利用企业的实际生产数据对三维坐标系拼托方案进行验证,结果表明,托盘使用量可减少40%,同时意味着拼托时间的减少、入库周期的缩短、仓库空间利用率的提高等。由于应用条件的限制,目前只进行了基于人工作业的拼托方案验证,随着自动化与信息化的发展,将对全自动化背景下三维坐标系拼托方案的效率进行进一步研究与分析。

参考文献:

- [1] 熊先青,魏亚娜,方露,等.大规模定制家具快速响应机制及关键技术研究[J].林产工业,2016,43(1):47-52.
XIONG X Q, WEI Y N, FANG L, et al. Study on quick response mechanism and key technology of the mass customization furniture[J].

- China Forest Products Industry, 2016, 43(1): 47-52.
- [2] 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.
- [3] 刘鑫,沈海泳,刘闻名.基于互联网的家具定制设计智能平台的构建研究[J].家具与室内装饰,2018(8):16-17.
LIU X, SHEN H Y, LIU W M. Research on the design of kitchen cabinet storage for small apartment[J]. Furniture & Interior Design, 2018(8): 16-17.
- [4] 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.
- [5] 郝媛媛,张冰冰.当前定制家具行业发展的理性思考[J].家具与室内装饰,2018(7):13-16.
HAO Y Y, ZHANG B B. Rational thinking over the current development of custom furniture industry[J]. Furniture & Interior Design, 2018(7): 13-16.
- [6] 熊先青,袁莹莹,牛怡婷,等.大规模定制家具ERP系统的构建及其关键技术[J].林业工程学报,2019,33(4):162-168.
XIONG X Q, YUAN Y Y, NIU Y T, et al. Research on key technologies of ERP system for mass customization furniture production[J]. Journal of Forestry Engineering, 2019, 33(4): 162-168.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 刘慧,熊先青,于克,等.板式定制家具智能分拣系统及其应用[J].林产工业,2019,46(5):54-58.
LIU H, XIONG X Q, YU K, et al. Panel customized furniture intelligent sorting system and its application[J]. China Forest Products Industry, 2019, 46(5): 54-58.
- [10] 林超群,樊树海,陈鹏,等.基于柔性制造系统的大规模定制家具公理化设计研究[J].林产工业,2019,56(10):23-26.
LIN C Q, FAN S H, CHEN P, et al. Research on axiomatic design of mass customization furniture based on flexible manufacturing system [J]. China Forest Products Industry, 2019, 56(10): 23-26.
- [11] 熊先青,任杰.面向智能制造的家居产品数字化设计技术[J].木材科学与技术,2021,35(1):14-19.
XIONG X Q, REN J. Digital design technology of furnishing products in intelligent manufacturing[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2021, 35(1): 14-19.
- [12] 李荣荣,姚倩.面向智能制造的板式定制家具柔性生产线设备配置[J].木材科学与技术,2021,35(2):23-29.
LI R R, YAO Q. Research on equipment configurations of the flexible production line for intelligently manufacturing customized panel furnitures[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2021, 35(2): 23-29.

(本文编校 向琴)