

“家居智能制造”专栏 (1) DOI:10.12326/j.2096-9694.2020020

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。

面向智能制造的家居产品数字化设计技术

熊先青^{1,2}, 任杰²

(1. 南京林业大学林业资源高效加工利用协同创新中心, 江苏南京 210037;

2. 南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037)



摘要: 实现智能制造的关键是数字化设计。在总结中国家居产业数字化设计发展概况的基础上,分析当前家居数字化设计的基本情况、有待解决的根本问题和策略,构建面向智能制造的家居数字化设计关键技术架构,包括:数字化产品模型构建、数字化设计信息交互与处理、数字化设计拆单加工一体化及家居产品数字化设计信息展示等技术,旨为我国家居企业实现数字化智能制造转型升级提供参考。

关键词: 智能制造; 数字化设计; 家居产品; 关键技术

中图分类号: TS664.01; F426.92; F49

文献标识码: A

文章编号: 2096-9694 (2021) 01-0014-06

Digital Design Technology of Furnishing Products in Intelligent Manufacturing

XIONG Xian-qing^{1,2}, REN Jie²

(1. Co-Innovation Center of Efficient Processing and Utilization of Forest Resources, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037,

Jiangsu, China; 2. College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: Digital design is crucial to intelligent manufacturing. Based on the summary of the history of digital design in the furnishing industry of China, this paper analyzed the fundamental status, investigated the essential problems that needed to be solved, then presented a framework of the key technologies of digital design for intelligent manufacturing furnishing products. The key technologies include: the construction of the digital design technology platform, the construction of digital product models, the data interaction and processing of digital design, the integration of digital design, splitting order and processing, and digital display of household products. This article aims to provide a reference for the transformation and upgrading digital intelligent manufacturing of domestic furnishing products.

Key words: intelligent manufacturing; digital design; furnishing products; key technology

收稿日期: 2020-02-24; 修改日期: 2020-03-31

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); 木竹产业技术创新战略联盟合作课题“实木整装家居数字化设计与集成技术”(TIAWBI2020-10)。

作者简介: 熊先青 (1975—), 教授。Email: 96xiong0450@sina.com

随着智能制造时代的到来,以“个性化定制”为主旋律的商业模式和以“柔性化制造”为核心的制造模式正快速席卷整个传统制造业^[1],传统制造业应以快速的转型和升级来适应这种变革,数字化设计和制造在此背景下应运而生^[2]。设计是任何产品制

造的灵魂,据统计,产品的设计阶段对产品生产周期的总成本影响通常占70%左右,产品设计不合理将直接导致产品成本及质量问题^[3]。因此,产品数字化设计技术对向“个性化定制”和“柔性化制造”模式的顺利转型、对智能制造的转型,具有重大现实意义。

数字化设计,是指借助计算机、网络、CAD及CAE软件、打印机、绘图仪等工具,根据客户对定制产品的需求,充分考虑整个产品的生命周期进行数字建模^[4],依托数字压缩、编码、解调和调制等处理技术,经过一定运算,通过几何模型建构和反复数据调试完成产品设计^[5]。在设计过程中,需通过信息技术对设计行为严格规范和把控,从而保障设计水平、设计效率和整体性效果。目前,国内外关于家居产品的数字化设计的研究主要以产品的标准化、系列化设计为主;随着定制家居的快速发展,各类管控软件在家居企业的应用,数字化设计逐渐进入设计、制造和管理的一体化技术方向发展,但面向智能制造的数字化设计技术体系的系统研究还鲜有报道。

鉴于此,笔者以传统家居产业数字化转型为例,针对我国家居数字化设计发展情况,就如何通过数字化设计与制造的生产方式实现柔性制造,阐述面向智能制造的家居产品数字化设计技术,旨为我国家居企业的数字化转型升级提供参考。

1 我国家居数字化设计的基本情况

1.1 数字化设计的发展历程

我国家居数字化设计与制造技术的发展,大致经历了四个阶段^[6]。

第一阶段:以家具数字化设计软件开发为主。自主开发了家具零部件及结构CAFD系统、家具结构设计FCAD系统、室内设计和家具造型设计CAD系统、刨花板家具结构强度有限元分析SFCAD系统和32 mm系列板式家具设计DLFDH系统、家具造型设计FCAD系统等,数字化设计软件系统理论研究取得一定的成果,但由于缺少软件维护与技术升级措施,数字化设计的功能受限,推广和应用范围有限。

第二阶段:以国外设计软件的引进及软件间的接口分析为主。引进Autodesk公司AutoCAD计算机

辅助设计通用平台,由于其易学、易用,且具有二次开发接口,得到家具企业的认可;同时,一些橱柜设计专业软件陆续被引入,如KCD Cabinet Designer、Cabinet Pro、Cabinet Vision Solid等,由于软件格式不兼容或未汉化、价格贵、售后服务及技术支持渠道不畅等问题,此类数字化设计系统多数仅限于少数外资或OEM企业使用,但为我国家具行业数字化转型和数字化设计快速发展奠定了一定基础。

第三阶段:以国内外家具数字化设计软件定制开发为主。如2020、Imos 3D、TopSolid Wood、Microvellum等,此类设计软件的共同特点是能提供家具数字化设计的解决方案和技术支持,因而深受家具企业的喜爱,并逐渐成为一些定制家具企业必备的设计工具。随着大规模定制家具和数字化管理的快速发展,家具企业的数字化设计和制造转型成为企业生存和发展的核心竞争力。在此背景下,国内的SAP、Oracle、Epicor、WCC、2020、IMOS、Topsolid、鼎捷、金蝶、用友、广州伟伦、广州华广、造易、商川等通用软件,逐渐成为制造行业常用的数字化设计和管控系统的主要代表。同时,国内家具企业和软件企业也开始结合定制家居的自身特点,开发家具企业专用软件,如东莞数夫、广州联想等。

第四阶段:以家具数字化设计在线展示为主。国内部分专业软件企业开始结合定制家具设计过程中的不同功能特点,开发家居数字化设计的拆单、渲染等功能软件,以广州犀牛R5、圆方、三维家、酷家乐等为代表,逐渐在家具行业中取得了相对稳固的地位,形成了国产家具数字化设计功能软件多足鼎立的局面。与引入国际化成熟的软件及作业标准(标准化导入式)相比,国产软件由于是为企业量身定制,更加适合我国家具企业数字化设计的实际需求,迅速打开了我国家具产品数字化设计的市场。

1.2 数字化设计的基本过程

家居数字化设计是指运用具体的三维软件工具,通过设计数据采集、数据处理和数据显示,实现家具模型的虚拟创建、修改、完善、分析与展示等一系列的数字化操作。

其基本过程如图1所示。

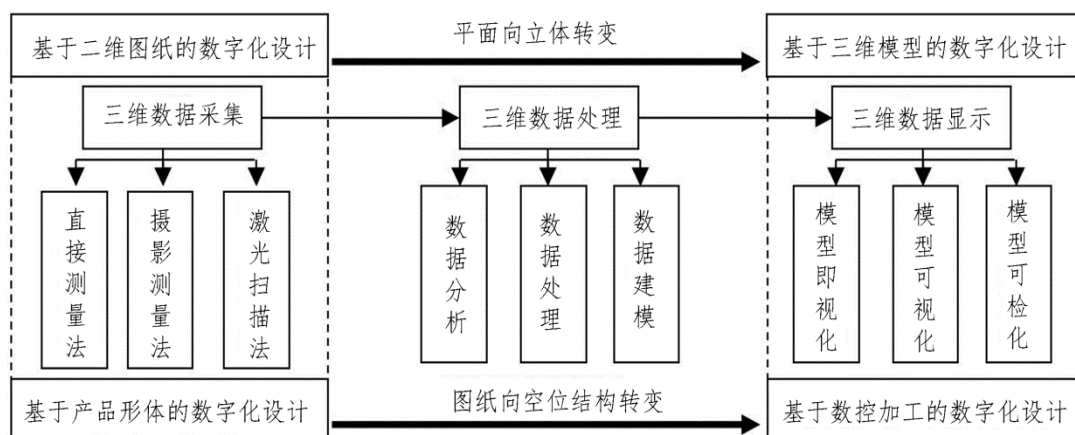


图1 家居数字化设计的基本过程

Fig.1 Basic process of digital design for furnishing products

2 实施数字化设计的目的与策略

2.1 数字化设计的目的

结合定制家居产品的结构特点,围绕“个性化定制”和“柔性化制造”两种模式特点^[7-8],家居企业实施数字化设计的目的在于以下两个方面。

1) 数字化设计作为定制家居智能制造单元的起点,直接决定了前端快速接单和高效排产。接单和排产受到生产任务分配、加工次序、工艺约束、生产状态和能力平衡等多种因素的限制,将直接影响由柔性控制多台数控机床组成的家居智能生产线的批量加工问题,也会造成个性化定制与生产效率之间的冲突、单件定制零部件与材料整体利用率之间的冲突、单件定制零部件与规模化生产之间的冲突^[9]。因此,要想消减这些定制因子间的冲突,关键是解决多个连续变量和离散变量的混合系统优化问题,即突破快速接单和高效排产问题,根源是设计数据信息的快速传递和共享^[10]。因此,数字化设计是智能制造的基础,设计信息则是定制家居制造的核心因子,是定制家居集成车间数字化转型最关键的突破口。

2) 智能制造最关键的一个特征是“个人定制”,用户全过程、全流程参与^[11],因此,数字化设计也是客户参与的重要信息依据。唯有设计信息通过数字化的形式来表现,才能通过柔性制造技术,实现个性化定制条件下的批量化生产,满足定制家居低成本、高质量、短交货周期的生产需求,从而提高大规模定制家居的智能制造水平。

2.2 数字化设计的策略

家居企业实施智能制造,是制造平台的搭建过程,该平台包含三大关键内容:即家具数字化设计平台、家具智能制造平台和家具数字化管理平台^[12]。其中,家具数字化设计平台,其策略是通过开发支持多源设计信息、跨平台共享的软件架构技术平台,从而构成家具快速定制设计系统。该系统应不仅具备自适应数据对接、云端自存储、自设计、个人定制、众包设计以及设计信息快速拆解和并组功能,还可以解决家具智能制造过程中,因定制产品复杂多样而造成的设计图纸信息出错率高、设计信息孤岛、在线设计难、智能化程度低等瓶颈问题。家具数字化设计技术平台应包括以下几个关键策略。

1) 家居CAD设计软件系统开发。主要是开发基于插件的定制家居CAD设计软件系统,应针对定制家居产品结构复杂的特点,通过脚本建模、插件、数据库重构等技术,使其具备自适应、向导、数据对接等功能,实现设计过程无纸化。

2) 家居产品在线设计系统开发。通过云技术构建在线设计系统,实现模块化设计方案云端自存储、多组织下单自设计、门店设计自展示,同时满足用户全过程、全流程参与的“众包设计”平台。

3) 家居产品设计信息智能采集与处理。针对设计信息智能化低的问题,通过插件技术和BI大数据分析,建立企业内各软件间共享系统接口,实现移动设备数据同步、模块化结构及孔位自动分解、CAD与CAM信息共享和一体化。

3 面向智能制造的家居数字化设计关键技术

3.1 数字化产品模型构建技术

相对传统的产品设计，家居数字化设计系统是在构建结构标准零件库、材料及半成品型材库、型材截面图形库及其参数库、强度分析库等的基础上，形成完整的设计数据库。数据库的参数应方便修改，模块组合便捷。同时，从家居产品的全生命周期考虑，数据库模型还要考虑产品的开发、成长、成熟、衰退等过程的更新和扩展。因此，家居数字化设计的关键就是构建产品数字化模型，包括两方面技术。

1) 产品族规划与标准模块数字化技术^[13]。通过分析家居产品中的典型零部件结构，对所有产品的零部件进行分类管理，以产品结构为中心的零部件数据管理模式为出发点，开发家具产品的三维参数化零部件数据库。

首先，应通过分析客户需求、依据协同环境下的定制设计、分析各种类型和规格的产品，从中提炼出共性较强的部分进行模块开发，模块要具有独立性；其次，由模块构成产品族，构建定制产品族模型及其协同推理与模糊综合评价工具进行评价；再次，基于产品族零部件和产品结构相似性、通用性，建立产品族模型所需质量功能配置、相容决策支持、BOM表和实物特性表等信息内容，向客户与设计人员提供数据化设计信息交流平台，从而进行

网上数字化虚拟展示与协同定制设计系统开发。

2) 产品成组分类与信息编码技术^[14]。在进行产品族规划与标准模块数字化过程中，还需依据产品结构、零部件的数据、图文档信息等，以及动态网页技术的研究，设计数据存取交换与产品数据管理(PDM)系统的总体结构，规划系统关键功能模块以及信息的运行管理；依据成组技术，对结构相似、功能相似、工艺相似的产品进行分类，并按照产品族、部件族和零件族的层次，建立相应的代码，建立柔性化、可扩充的链式结构产品、零部件的编码规则，构建以Web技术为基础的大规模定制产品数字化结构平台。

3.2 数字化设计拆单、加工一体化技术

数字化设计拆单、加工一体化，实质是在定制家居产品订单流程分析的基础上，对流程中关键节点的卡脖子问题，找到一种合理的将设计信息与数字化加工设备需求信息共享的解决方案，从而构建数字化设计和制造的拆单、加工一体化。

除了设计软件(如2020、TopSolid)与拆单软件IMOS、管理软件ERP的一体化，还需要设计信息在数控设备中的传递与应用等^[15]。笔者依据前期大量调研分析结果，结合目前企业的实际应用情况，提炼出板式和实木家具的数字化设计拆单、加工一体化过程，如图2、图3所示。

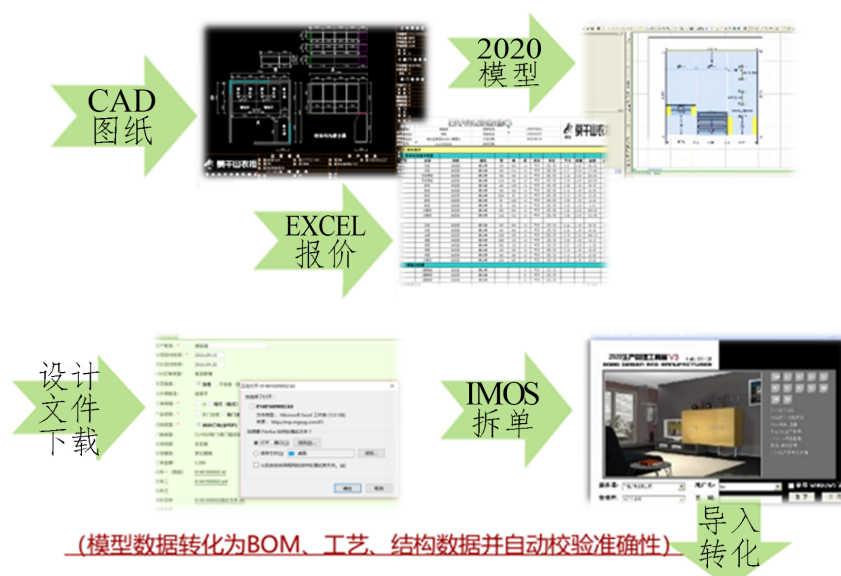


图2 板式家居产品数字化设计拆单、加工一体化过程

Fig.2 The integrated process of digital design, splitting orders and processing of panel-based products

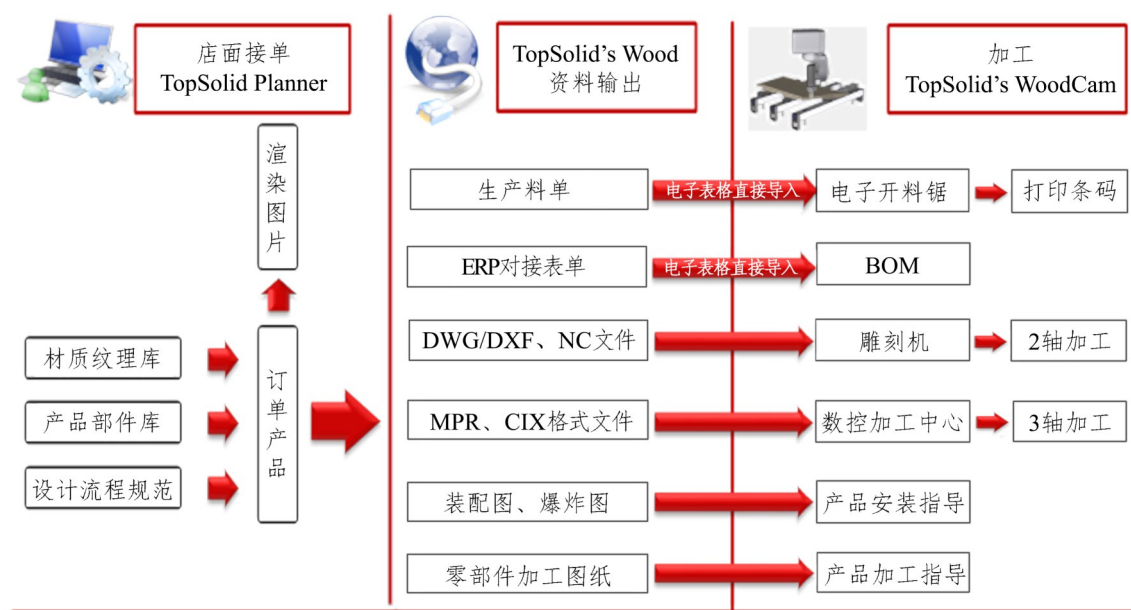


图3 实木家居产品数字化设计拆单、加工一体化过程

Fig.3 The integrated process of digital design, splitting orders and processing of solid wood products

由图2、图3可知,板式、实木家居的数字化设计拆单、加工一体化虽然有所差异,但都是通过数字化完成产品设计后,对零部件加工信息进行定义,应用相关的设计、拆单软件,如板式家居的2020、实木家居的TopSolid等,产生出产品加工信息及参数,如材质、纹理、角度、封边、钻孔、铣型等,传递给企业的管理软件ERP,由ERP再对数据分析、计算工艺路线、优化组合,达到设备最短工艺路线、最佳生产产能等目标。

数控设备(CNC)在加工时,通过零部件标签、零部件编码,定义部件名称、尺寸、数量、材质等,依据设计软件产生的符合设备要求格式文件的加工代码,由ERP负责管理并传递到相应设备(CNC),与数控设备形成数据一体化,从而使得数字化设计拆单、加工一体化技术实现。

3.3 数字化设计信息交互与处理技术

数字化设计信息,最终在企业生产过程中,应具备自适应与加工设备数据对接,同时可实现云端自存储、自设计等功能,解决传统图纸信息出错率高、设计信息孤岛、智能化程度低等难题^[16]。数字化设计信息交互与处理,关键技术是通过插件技术和BI大数据分析,建立企业内各软件间共享系统接口。

实际应用过程中,需在对现有的设计软件(如2020、TopSolid)升级优化后,将形成的图纸和设

计文件数据接入ERP系统中,进行设计数据与企业管理体系的交互;再通过2020与ERP交互的设计数据与数控设备(如孔位分析IMOS系统)进行交互,并进行相应处理,实现模块化结构及孔位自动分解、CAD与CAM信息共享和传递;由设计信息通过ERP系统,传递到车间管控系统MES,实现生产计划、车间管控过程、自动分拣等的信息交互^[17]。

目前企业应用较成熟的定制衣柜产品的数字化设计信息交互与处理过程,如图4所示。

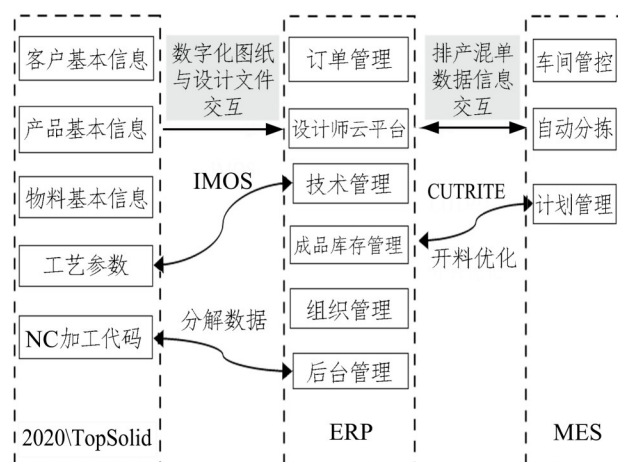


图4 家居数字化设计信息交互与处理技术

Fig.4 Information interchanging and processing technology of furnishing products

3.4 家居产品数字化设计信息展示技术

应用虚拟现实、3D渲染、一体化等技术手段,实现云渲染、云设计、BIM、VR、AR、AI等技术的研发,从设计到销售、生产、物流的整个家居产业链,打造3D云设计,以数字化与智能化的手段,让家居产业的销售、设计、制造变得更简单、高效。

1) 虚拟现实技术。主要是针对虚拟现实底层技术的研究,集三维建模、显示、高级渲染、照明设计、文件系统、开发接口等三维CAD平台,为消费者提供直观需求的“所见即所得”的全景VR设计新模式。

2) 3D渲染引擎技术。主要是集光线跟踪、光能传递、全息渲染等技术和方法,进行快速高效渲染,将全景VR设计快速展示。

3) 一体化应用技术。通过相关核心技术开发和应用,满足装修、家具、橱柜等行业需求,将“足装智能3D设计+场景生态+智能制造+精细化管理”细融为一体,从而进行虚拟现实。

4 结语

面向智能制造的家居数字化设计,其根本要求是规范设计软件,实现产品零部件的标准化和参数化,真正实现设计过程无纸化;并通过技术管控平台的搭建,将设计图信息准确地转换成加工数据,自订单的前端设计至终端生产的整个过程,数据可视和透明化,从而有效控制加工设备。但在实际制造过程中,还存在许多问题,如缺乏设计软件和管理软件的标准接口,设计数据转换成加工数据时容易出错等,尚需要不断完善,才能真正家居产品的设计与生产一体化,助力我国家居实现数字化转型和智能制造。

参考文献:

- [1] 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, 3(6): 11-18.
XIONG X Q, WU Z H. Present situation and development trend of intelligent manufacturing in home furnishing industry[J]. China Forestry Science and Technology, 2018, 3(6): 11-18.
- [2] 唐堂, 滕琳, 吴杰, 陈明. 全面实现数字化是通向智能制造的必由之路——解读《智能制造之路: 数字化工厂》[J]. 中国机械工程, 2018, 29(3): 366-377.
- [3] WiedenbeckJan, Jeff Parson s. Digital technology use by companies in the furniture, cabinet, architectural millwork, and related industries[J]. Forest Products Journal, 2010, 60(1): 78-85.
- [4] 刘伟, 吴智慧, 徐伟. 生命周期评价在家具行业的应用[J]. 世界林业研究, 2019, 32(2): 56-60.
LIU Y, WU Z H, XU W. Review of the application of life cycle

- assessment to furniture industry[J]. World Forestry Research, 2019, 32(2): 56-60.
- [5] 杨元, 刘文金, 李国华. 用户对家具产品不同偏好的脑认知探微[J]. 林业工程学报, 2019, 4(5): 152-158.
YANG Y, LIU W J, LI G H. Research on users' cognition of different preferences based on ERPs[J]. China Forestry Science and Technology, 2019, 4(5): 152-158.
- [6] 朱剑刚. 面向大规模定制的家具数字化设计技术[J]. 木材工业, 2011, 25(3): 30-33.
ZHU J G. Digital furniture design techniques for customized mass production[J]. China Wood Industry, 2011, 25(3): 30-33.
- [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] 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, 4(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]. China Forestry Science and Technology, 2019, 4(4): 162-168.
- [9] 张根保, 冉琰. 基于模糊物元小批量生产典型工序能力分析[J]. 机械工程学报, 2015, 51(23): 116-122.
ZHANG G B, RAN Y. Typical process capability analysis of small-batch production based on fuzzy matter-element[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(23): 116-122.
- [10] Kulak O, Sahin Y, Taner M E. Joint order batching and picker routing in single and multiple-cross-aisle warehouses using cluster-based tabu search algorithms[J]. Flexible services and Manufacturing Journal, 2012, 24(1): 52-80.
- [11] 李若辉, 关惠元, 吴智慧. 我国家具制造企业设计创新管理运作模式研究[J]. 林产工业, 2018, 45(1): 3-7.
LI R H, GUAN H Y, WU Z H. Study on design innovative management mode in Chinese furniture manufacturing enterprises[J]. China Forest Products Industry 2018, 45(1): 3-7.
- [12] 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]. China Forestry Science and Technology, 2018, 3(6): 149-155.
- [13] 储韩君, 顾颜婷, 颜敏. 可拆装化家具研究与设计实践[J]. 家具, 2019, 40(3): 93-96.
- [14] 卫军朝, 闫秀天, 张国渊. 包含构件成组约束的多目标产品架构模块划分[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(12): 3096-3105.
WEI J C, YAN X T, ZHANG G Y. Multi-objective module division method for product architecture incorporating component grouping constraints[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(12): 3096-3105.
- [15] 惠小雨, 吴智慧, 沈忠民. 定制家具行业数字化设计生产一体化现状的研究与分析[J]. 家具, 2019, 40(3): 7-11.
- [16] 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]. China Forestry Science and Technology, 2019, 4(3): 145-151.
- [17] 熊先青, 蒋义, 黄琼涛, 等. 大规模定制家具MES系统的关键技术研究[J]. 制造业自动化, 2018, 40(7): 79-83.
XIONG X Q, JIANG Y, HUANG Q T, et al. Research on key technologies of MES system for mass customization furniture [J]. Manufacturing Automation, 2018, 40(7): 79-83.

(本文编校 向 琴)