

面向智能制造的实木家具产品数字化设计技术

李静^{1,2}, 戴达鹏³, 郭洪武^{1,2}, 刘毅^{1,2*}

(1. 北京林业大学木质材料科学与应用教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 国家林业草原木质材料循环利用工程技术研究中心, 北京 100083; 3. 江西环境工程职业学院, 赣州 341002)

摘要:在智能制造技术的推动下,传统家具制造业迈上了数字化转型的道路。相较于已发展完善工业 4.0 设计生产一体化的板式家具,实木家具因其缺乏标准化、信息化程度低等因素,数字化转型亟待寻求发展路径。设计是设计生产一体化定制流程的第一环节,是流程的数据源头,因而设计阶段的技术突破是传统实木家具企业实现数字化转型的首要步骤,数字化设计技术是实木家具企业数字化转型的关键技术。在总结我国实木家具设计生产一体化现状的基础上,分析实木家具发展数字化转型亟待解决的难点问题,即改善实木家具设计模式、规范产品体系、提高零部件标准化、建立完善产品数据库和生产工艺数据库。以实木家具产品设计为切入点,分析数字化软件在一体化发展中的应用,基于传统家具企业数字化转型升级路径,构建了实木家具数字化设计实施技术路径,具体包括:数字化模型构建(产品成组和零部件标准化、信息数据模型构建)、产品数据库构建、系统数据对接、基于数字化设计平台的大规模定制等,旨在为我国实木家具的数字化转型升级提供一定的参考。

关键词:实木家具;数字化设计;设计生产一体化;个性化定制

中图分类号:TS664.1

文献标志码:A

文章编号:2096-1359(2024)04-0168-08

Digital design technology of solid wood furniture for intelligent manufacturing

LI Jing^{1,2}, DAI Dapeng³, GUO Hongwu^{1,2}, LIU Yi^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Wood Material Science and Application (Beijing Forestry University), Ministry of Education, Beijing 100083, China;
2. National Forestry and Grassland Engineering Technology Center for Wood Resources Recycling, Beijing 100083, China;
3. Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou 341002, China)

Abstract: Under the impetus of intelligent manufacturing technology, the traditional furniture manufacturing industry has embarked on the road of digital transformation. Compared with the advancement seen in achieving the seamless integration of design and production in panel furniture within Industry 4.0, solid wood furniture faces challenges such as a lack of standardization and limited adoption of information technology. As a result, there is an urgent need for digital transformation to chart a development path forward. Design is the first link in the design and production of integrated customization process, which is the process of data source. The design phase of the technological breakthrough is the first step of digital transformation in the traditional solid wood furniture enterprises, and the digital design technology is the key technology of the digital transformation of solid wood furniture enterprises. In this paper, the design and production of solid wood furniture in China were summarized on the basis of the integration of the status quo, and the development of digital transformation of solid wood furniture is urgent to solve the difficult problems, namely, to improve the design mode of solid wood furniture, standardize the product system, improve the standardization of parts and components, and establish a perfect product database and production process database. The solid wood furniture product design as an entry point, the application of digital software was analyzed in the integrated development. Based on the traditional furniture enterprise digital transformation and upgrading path, a solid wood furniture digital design implementation technology path was constructed, including the digital model construction (product grouping and parts standardization, information data model construction), product database construction, system data docking based on the digital design platform mass customization, etc., aiming at providing certain reference for the digital transformation and upgrading of solid wood furniture in China.

Keywords: solid wood furniture; digital design technology; design and production integration; personalization

收稿日期:2023-07-20

修回日期:2024-03-11

基金项目:国家重点研发计划(2023YFD2201500)。

作者简介:李静,女,研究方向为家具智能制造。通信作者:刘毅,男,副教授。E-mail:liuyichina@bjfu.edu.cn

2015年,《中国制造2025》将“大规模个性化定制”规定为重塑产业价值链体系的制造业新模式;2016年,《智能制造工程实施指南(2016—2020)》明确以“大规模个性化定制”为代表的智能制造是需要进一步培育推广的新模式^[1-2]。由此可见,“个性化定制”商业模式和“柔性化生产”生产模式为主的产业变革开始席卷整个中国传统制造业,作为传统制造业中的一员,家具制造业也开启了迈向智能制造的新征程^[3]。智能制造诞生于制造技术和信息技术的深度融合,其演变发展与数字化网络化智能化的特征密不可分,根据这些技术特征,可总结归纳为3种基本范式:数字化制造—第一代智能制造、数字化网络化制造—“互联网+”制造或第二代智能制造、数字化网络化智能化制造—新一代智能制造(图1)^[4]。数字化转型是智能制造的基础,其关键是要基于消费者个性化需求,发展规模化、标准化和信息化,将销售下单、组织生产、配送、上门安装以及服务等各个环节数据进行集成与共享,将数据作为整个企业运营的核心资源,让企业运作从流程驱动升级为数据驱动。因此,家具企业在设计手段上、管理体制和制造方式上进行革新^[5]。设计是家具制造的第一环节,设计环节产生的数据是设计拆单生产一体化定制流程的数据源头,设计的效率、质量、准确性将直接影响后续的加工生产服务等一系列环节^[6]。因此要实现面向大规模个性化定制的数字化转型,首先要解决的是设计技术上的突破。目前,新一代数字化设计技术正取代传统的手工绘制设计,成为家具企业数字化转型的关键技术。

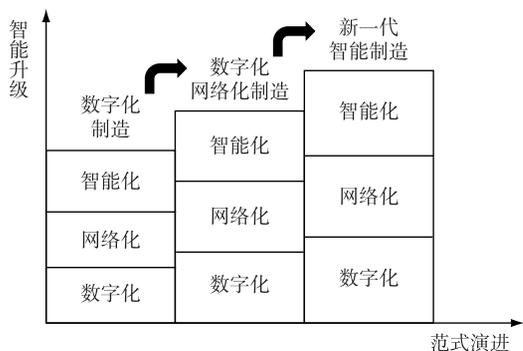


图1 智能制造基本范式演进

Fig. 1 Evolution of the basic paradigm of smart manufacturing

数字化设计利用计算机编码等现代数字技术,运用“0”“1”二进制编码数字,将产品设计信息和工艺信息快速集成到模型中,这些数据能够从设计端传递给生产端,向生产端提供数字化指令信息,

实现从设计到生产的一体化流程^[5,7]。对家具企业而言,数字化设计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^[6]。相比传统的手工绘制设计,家居数字化设计更能满足客户的个性化需求,有着响应速度快、协同效率高的优势。目前,我国有关实木家具数字化设计技术的研究主要以实木家具零部件成组、标准化设计、参数化模型库构建为主,鲜有从设计生产一体化的角度对实木家具数字化设计技术实施进行系统性研究。鉴于此,笔者基于当前实木家具设计生产一体化现状,就如何利用数字化设计技术解决实木家具企业数字化转型中亟待解决的问题展开论述,旨在为我国实木家具企业的数字化转型升级提供参考。

1 实木家具设计生产一体化现状

家具生产的最终目的是满足消费者的需求,因此消费驱动是家具企业发展的最大动力^[8]。随着我国经济快速增长,消费者需求向着个性化、多样化和快节奏化转变,无论是板式家具还是实木家具企业,其身份都开始由传统的家具制造商向着家居定制服务提供商转变^[9]。为了适应大规模个性化定制的发展潮流,提升企业快速响应能力,传统实木家具企业着力于发展数字化转型,将实现设计生产一体化的定制流程作为转型的核心目标。

家具设计生产一体化是指在定制家具产品订单流程分析的基础上,通过设计、管理、生产等多个系统的协同运作,实现全流程各环节数据的传递、转换和共享,以设计数据为源头驱动从前端设计到后端生产的全流程^[10]。由于企业的规模和技术千差万别,设计生产一体化发展程度也不尽相同。板式家具作为定制家具的先驱,已形成一套完整的设计生产一体化的智能制造系统。实木家具企业在成品转定制过程中,由于产品系列众多,设计数据庞大,在设计到生产过程中没有统一的标准和规范,严重制约了实木家具数字化转型,聚焦于产品设计阶段,主要问题如下:

1) 前后端信息不匹配,沟通成本高,订单交付周期长。无论是产品研发还是定制设计阶段,企业设计端都以CAD图纸为产品设计数据主要存储和传递方式,后端生产人员需依赖人工经验对照图纸进行工艺流程图、BOM表等加工图纸的拆单制作。

在前后端数据对接转换中,存在零部件命名不对应、图纸修改不便等问题,造成大量沟通成本,导致设计生产效率低下^[11-12]。

2)产品体系复杂,零部件缺乏标准化。大多实木家具从成品转向定制,传统实木家具在产品研发阶段由于缺乏标准化思想,产品造型、材料、工艺、种类、结构复杂,导致升级的定制产品体系庞大,零部件种类繁多。一方面,庞大的产品体系为产品数据库和生产工艺数据库的搭建带来了巨大的工作量,进而造成设计生产流程的数据缺失,影响设计生产效率;另一方面,复杂多变的零部件的尺寸、结构、工艺、造型、编码等缺乏标准化,零部件之间无法形成互换,造成后续柔性化成组生产组织困难,影响了生产效率和产品交付周期^[12-13]。

综上所述,如何改善实木家具设计模式、规范产品体系、提高零部件标准化、建立完善产品数据库和生产工艺数据库,消除设计生产之间的数据壁垒,以统一的数据驱动设计生产全流程,打通前后端设计生产一体化,是当下实木家具发展大规模个性化定制,走向智能制造亟待解决的问题。

2 实木家具数字化设计软件

数字化设计软件的出现极大地改善了家具行业传统的设计模式,对设计效率起到了显著的提升。随着大规模个性化定制的发展,数字化设计软件的研发和应用成为实木家具数字化转型发展的重要途径,数字化设计软件逐渐从单一的绘图向着设计、生产和管理的一体化解决方案发展。目前实木家具行业应用较为广泛的具有一体化解决方案的数字化设计软件包括酷家乐软件、Topsolid Wood、ThinkDesign、NX、SolidWorks等,不同软件具有的专业性、一体化程度、应用性具有差异化。鉴于实木家具设计生产的复杂性,仅靠某一数字化设计软件无法实现全流程的打通。因而实木家具企

业在一体化软件的部署上往往采用软件二次开发或多个软件对接的协同平台。就目前市场调研结果来看,实木家具企业多以酷家乐软件与Topsolid的协同数字化设计平台为主来实施一体化定制流程(图2),前端门店设计师根据用户需求在酷家乐中进行方案设计,生成包含订单信息的JSON文件,设计数据可通过软件接口传递到Topsolid中;后端生产人员在Topsolid中还原模型,经检查无误后便可一键生成BOM、设备加工文件、部件加工图、产品安装示意图等生产数据传递到文件存储中间库中,ERP获取方案并传递给APS计划与排程系统进行排产,将生产任务传递到MES系统中,由MES系统生成计划领料和加工批次,最终MES系统对车间的加工设备传递生产指令进行排产^[10]。

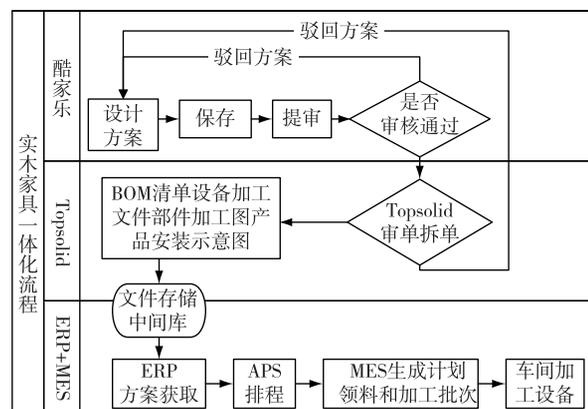


图2 酷家乐软件与Topsolid的协同数字化设计平台

Fig. 2 Collaborative digital design platform of Kujiale and Topsolid

3 实木家具数字化设计实施

基于OODA循环原理,实木家具数字化转型是一个长期持续的“观察—判断—决策—行动”的循环改进的过程,可划分为数字化转换、数字化升级、数字化转型3个阶段(图3),3个阶段循序渐进,在完成业务、技术、组织创新后进入下一轮的数

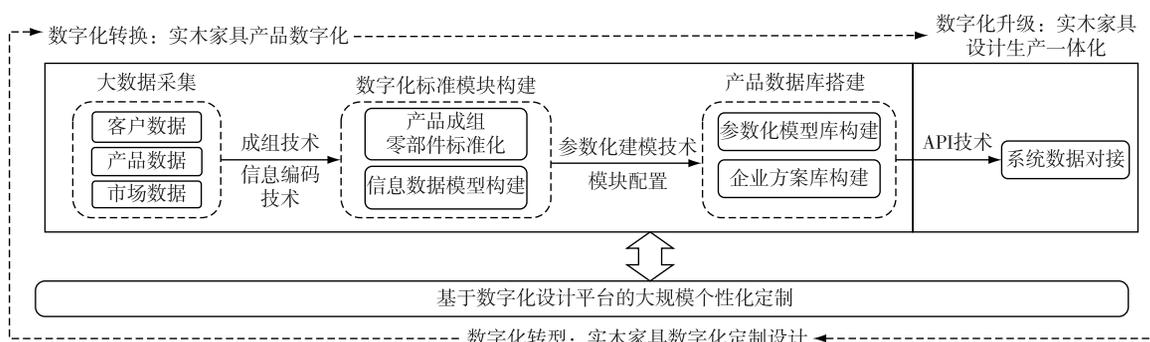


图3 实木家具数字化设计实施技术路径

Fig. 3 Solid wood furniture digital design implementation technology path

数字化转型^[14]。依据实木家具数字化转型的发展路径,以实木家具产品设计为出发点,可进一步建立实木家具数字化设计的实施路径。首先是数字化转换,这一阶段的目标是实现实木家具产品数字化,具体实施表现为基于大数据的采集和分析,采用成组技术和信息模型编码技术完成数字化标准模块的构建,改善产品体系庞大、零部件缺乏标准化的问题;采用参数化建模技术和模块配置技术在数字化设计软件中搭建产品数据库,健全企业产品设计数据和生产工艺数据。其次是数字化升级,这一阶段的目标是实现实木家具设计生产一体化,确立各软件系统的运作模式,通过 API 接口技术将各系统串联成完整的链路,打通从前端设计到后端生产的数据壁垒,实现全流程的数据驱动。最后是数字化转型,这一阶段的目标是实现基于数字化设计平台的大规模个性化定制,完成从传统库存管理

模式向大规模个性化定制商业模式的转变。

3.1 数字化标准模块构建

数字化标准模块是家具数字化设计的关键技术,它是依据模块化原理和成组技术相似性原理(图4),采用层次式分类方法,对家具产品进行“产品层—部件层—零件层”的分层拆解。首先基于细分市场需求,对相似产品进行系列划分,再进一步对产品进行系统性拆解,对相似零部件进行归类,通过科学的优化方法对同组的零部件进行统一归纳,形成一种标准化的通用单元,从而实现零部件之间的互换,减少零部件种类。在此基础上,对产品和零部件建立相应的代码,建立柔性化、可扩充的产品和零部件的编码规则,建立产品和零部件信息数据模型^[15],从而实现数字化标准模块的构建,为多样化产品配置、信息化管理和柔性化制造奠定基础。

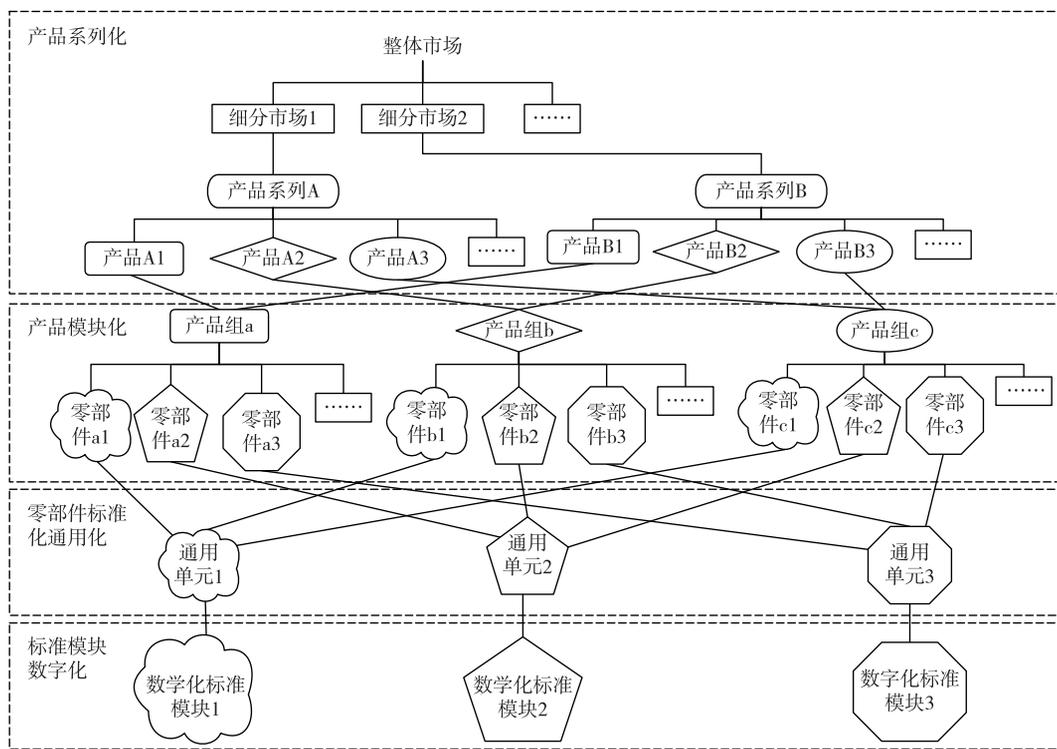


图4 数字化标准模块构建技术原理

Fig. 4 Digital standard module construction technology principle

3.1.1 产品成组和零部件标准化

成组技术(group technology, GT)是一种通过研究和利用事物之间的相似性,按照一定的规则进行分类组合,使得同一组事物能够采用同一方法进行处理,以便提高效率的技术,是柔性生产及大规模定制等先进制造模式的基础^[16]。通过对企业现有产品的分析,将相同品种或相同类型的产品按照最佳的数量科学地罗列起来,以最少的品种满足市场上最广泛的需要,简化产品品种^[17]。实木家具

零部件种类在几何形状、尺寸规格以及制造工艺方面存在一定的相似性,符合成组技术实现的条件^[18]。在产品结构分析的基础上,对产品进一步拆解成零部件,根据零部件之间的相似性进行分类,目前实木家具在成组分类上所采用的研究方法主要有视检法、生产流程分析法、编码分类法、聚类分析法、神经网络分类法等^[19]。由于实木家具产品体系复杂,产品数据庞大,因而在分类上可采用大数据技术来处理海量数据,如采用聚类算法结合

神经网络算法自动划分零部件族,以实现高效地数据管理和产品分类^[20-21]。

在分类的基础上,零部件的标准化设计能够减少实木家具零部件种类,提高零部件的通用性,从而减少重复设计和调机换刀的时间,是解决实木家具企业设计生产瓶颈的关键方法^[22]。对同类零部件特征数据进行汇总,分析结构、尺寸等特征的差异化和相似性,根据相似性原理对差异化的特征进行归纳统一,通过优化结构和形状、精简尺寸规格等标准化手段减少产品内部零部件的差异,结合人体工程学确定标准模块的基本参数,在标准模块的基础上可实现产品的快速变型配置设计^[23]。此外,在零部件优化的基础上,可根据零部件工艺相似性划分零部件族,制定成组生产工艺,以零部件族的形式组织生产,能够有效提升大规模定制的生产效率^[24]。

当然个性化需求并非一成不变,因此基于需求开发出来的数字化标准模块库具有动态性和协同操作性,需要根据外部市场的变化和内部生产数据来对模块库进行不断的更新迭代。根据外部市场数获取需求,进而基于质量功能展开理论推导功能,对无法完全实现功能的现有模块进行更新,若现有模块完全无法实现功能,则进行新模块的开发设计(图5)。根据企业内部工程单进行归纳分类,对低重复频次的模块视情况进行优化、淘汰或划分为非标准件^[25]。

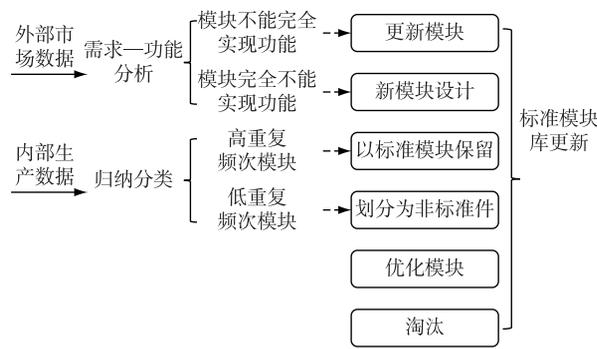


图5 数字化标准模块库更新流程

Fig. 5 Digital standard module library update process

3.1.2 信息数据模型构建

信息数据模型构建是指在产品成组和零部件标准化的基础上,利用信息编码技术对标准模块进行定义,利用字母或数字符号根据标准模块的设计特征和工艺特征数据化进行标识编制成录,赋予标准模块唯一的身份ID,从而实现对标准模块的信息管理和检索应用,以统一的数据模型实现各系统平台之间的分布和共享^[20-21]。信息数据模型包括产品信息数据模型和零件加工信息数据模型,产品的信息数据模型构建应以产品外观特征和尺寸为主,零件加工信息数据模型以工艺信息和尺寸为主,例如,可以“标识码+分类码+规格码”的形式制定柜门产品信息数据模型和零件加工信息数据模型^[20]。针对一些特征复杂的零件,简短的编码无法完全表述零件的特征,可适当提取特征进行单独编码,如针对表面物料特征复杂的实木柜门,可单独构建柜门的表面物料信息数据模型^[20]。

3.2 产品数据库构建

产品数据库构建是在数字化标准模块构建的基础上,采用参数化建模技术和模块配置技术对数字化标准模块进行参数化模型构建,进而通过模块化配置建立企业定制方案库,完成企业产品的数字化。参数化建模技术是指基于尺寸约束,通过尺寸驱动带动参数驱动来生成模型对象的技术^[24]。参数化模型具有尺寸可视化、参数可修改、结构可拆分等优点,为产品的变型设计和模块配置提供了技术支撑。在前端设计软件对接后端生产软件的过程中,采用参数化设计软件对数字化标准模块进行参数化模型构建,生成模型JSON文件再导入后端生产软件,实现家具模型设计信息和工艺信息的快速集成,构成产品数据库,如在酷家乐和Topsolid中建立一一对应的参数化模型库,前后端通过唯一的模型对接码实现数据的传递^[10]。不同的数字化软件其参数化建模功能不尽相同,适用对象也有所不同(表1)^[26-29]。因而实木家具企业在构建产品库时应根据企业产品自身特点,选择相对应的软件

表1 实木家具数字化软件参数化功能应用范围

Table 1 Solid wood furniture digitizing software parameterization function application scope

软件	应用范围
酷家乐软件	由参数值和参数表达式编辑模型,适用于形状结构规制的柜类家具、门板等建模
Topsolid	可由参数表驱动标准模型的批量创建;有专门木工模块,家具专用刀具库、榫卯库资源适用于各类家具和曲面造型的建模
ThinkDesign	可进行雕花、曲面等自由造型建模;可实现2D转3D,实现逆向设计拆单;可实现面向装配的设计,适用于实木类家具的建模
SolidWorks	可通过编程进行二次开发;适用于传统实木家具及其榫卯零部件的建模
NX	可对几何模型进行制造信息标注;可通过编程进行二次开发;适用于传统实木家具及其榫卯零部件的建模

进行模型构建。在确立数字化设计软件后,根据企业的四红木家具产品体系在软件中建立产品库基本框架,分析库中模型对象的结构,对建模所需的参数和对应的参数值以及关系表达式进行解析,制定通用的建模规范,在遵循建模规范的基础上创建标准模型,通过参数的修改、模块的配置实现多个参数化模型的快速创建^[11]。

3.3 系统数据对接

为了打通设计端和生产端的数据壁垒,实现一体化流程中数据的传递、存储和共享,实木家具企业需要采用应用程序接口技术(application program interface, API),搭建资源计划管理系统(ERP)、生

产执行系统(MES)、前端设计、后端拆单等软件系统的共享端口,通过调用 API 把不同来源、格式、特点性质的数据进行集成,将各软件系统串联成一条完整的链路(图6),实现数据从设计到生产全流程的互联互通^[17,24]。同时,数据被存储于云端,避免了纸质材料造成数据传递缺失的问题。实木家具企业将数字化设计数据接入 ERP 系统中,与企业管理系统进行数据交互,再通过与后端拆单软件的对接,实现设计数据与生产数据的对接,生产数据接入 MES 系统中,由 MES 系统与车间生产的各类软件系统对接,实现生产计划、生产管控的数据交互等。

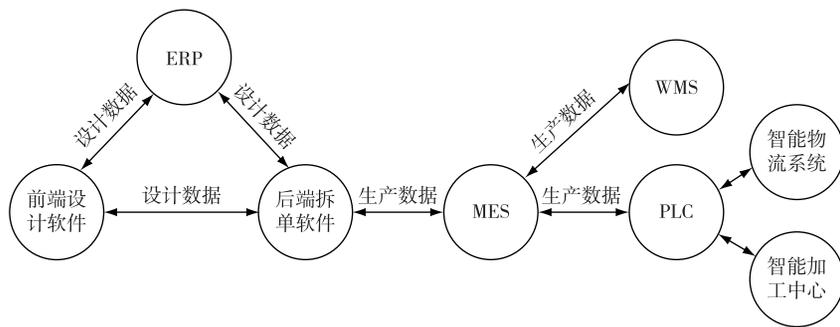


图6 实木家具企业各软件系统对接链路

Fig. 6 Solid wood furniture enterprises software system data interface

3.4 基于数字化设计平台的大规模个性化定制

基于数字化设计平台的大规模个性化定制是指实木家具企业通过挖掘和分析用户需求,对用户需求进行聚类分析。在此基础上,在数字化设计平台中构建标准化、模块化、通用化、可变型的产品数据库^[24-25];而后根据订单客户需求,从产品数据库

中提取相对应的数字化标准模块进行变型设计和产品配置,快速生成定制设计方案,客户确认下单后,交由后端进行拆单,以揀单排产的柔性化制造模式实现小批量多品种的大规模生产(图7)。整个流程中,企业基于现有的产品数据库进行设计方案的开发,避免了新模块的产生,同时订单用户的

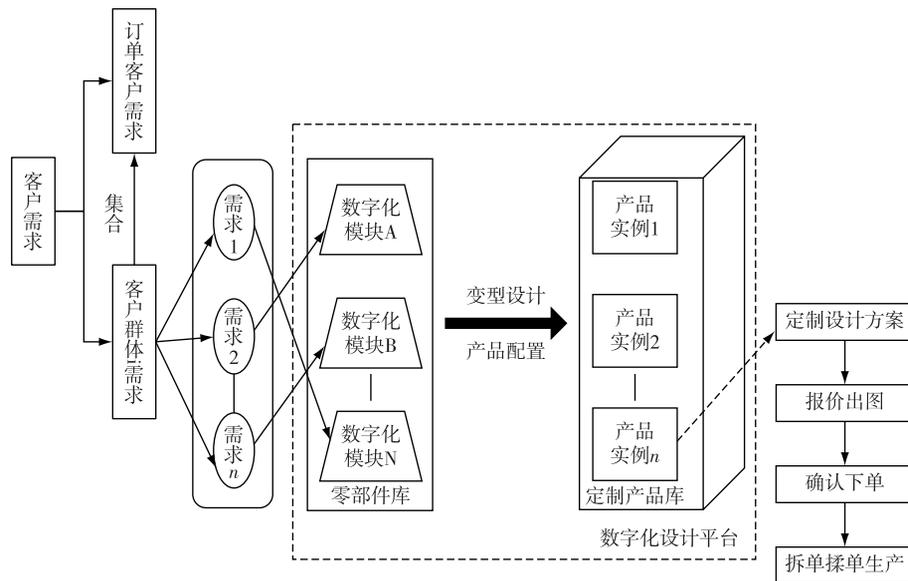


图7 基于数字化设计平台的大规模个性化定制

Fig. 7 Mass personalization based on digital design platform

设计方案也将作为设计资源存储于产品数据库中,扩充企业的定制方案库,便于在实际订单设计中直接调用模型,通过修改参数或局部结构实现定制方案的快速生成。实木家具企业在完成产品数字化、设计生产一体化后,对原有的设计生产流程进行重塑,基于数字化设计平台实现商业模式重构,从而实现设计的数字化转型,从源头上为企业的生产数字化、管理数字化奠定基础。

4 小 结

在智能制造的推动下,实木家具企业的数字化转型已成为必然趋势,这要求实木家具企业把握时代机遇,将先进数字化技术应用到企业设计、生产、管理、服务等价值链中,实现企业业务的互联互通,完成商业模式的再创新和客户价值再创造。目前我国实木家具企业正处于数字化转型的起步阶段,设计作为数据传递的起点,是企业数字化转型中的核心环节。因而,数字化设计技术的应用与发展成为实木家具企业实现数字化转型的关键技术,企业通过搭建带有设计数据和工艺数据的产品库,规范了企业的产品体系和工艺。数据的高效传递与导出简化了人工对照 CAD 深化拆单生产的业务流程,减少了订单流转中的人工干预,从而提升了企业设计生产效率和快速响应订单的能力。

实木定制家具行业呈现区域化、高度定制化、规模小、数量多的特征,因此在技术实施中会存在一体化软件难以推广的问题。目前,实木定制家具行业中以中小型企业居多,这类企业订单量较小。因此在业务流程中,主要呈现两种订单业务场景,一种为高质量效果图谈单,一种为 CAD 图谈单。前者面向高端群体,注重效果图渲染效果,因此更愿意使用 3dsMax 出图而非一体化设计软件。后者则因产品线条样式丰富、一体化设计软件缺乏曲线建模能力,因而以门店实物加 CAD 的方式与客户谈单。企业缺乏一套配备标准工艺的产品库对设计行为作出约束,导致生产工艺复杂,难以发展规模化生产。

综上,数字化转型是一个长期、复杂、持续的过程。一方面,设计软件需要根据实木定制家具企业的设计需求,对渲染、曲线建模等功能进行更新和迭代,提升软件的易用性和设计能力;另一方面,实木家具企业应立足自身实际能力,从梳理产品体系和工艺规范开始,采取渐进的模式,推进从产品数字化到设计生产一体化,做好基础建设,在此基础上向大规模个性化定制转变,再进入下一轮的循

环,在不断的迭代中实现自我跃迁。

参考文献(References):

- [1] 王姝楠. 数字经济背景下中国制造业转型升级研究[D]. 北京: 中共中央党校, 2020. DOI:10.27479/d.cnki.gzgcd.2020. WANG S N. Research on the transformation and upgrading of China's manufacturing industry under the background of digital economy [D]. Beijing: Party School of the CPC Central Committee, 2020.
- [2] 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. DOI: 10.13360/j.issn.2096-1359.201908017. 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.
- [3] 臧冀原, 王柏村, 孟柳, 等. 智能制造的三个基本范式: 从数字化制造、“互联网+”制造到新一代智能制造[J]. 中国工程科学, 2018, 20(4): 13-18. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2018.04.003. ZANG J Y, WANG B C, MENG L, et al. Brief analysis on three basic paradigms of intelligent manufacturing [J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(4): 13-18.
- [4] XIONG X Q, YUAN Y Y, FAN G L, et al. Status and development trends of intelligent manufacturing in China's furnishings industry [J]. Forest Products Journal, 2018, 68(3): 328-336.
- [5] 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. DOI: 10.12326/j.2096-9694.2020020. 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.
- [6] 陶涛, 吴义强, 戴向东, 等. 我国家具智能制造的高质量发展路径研究[J]. 家具与室内装饰, 2022, 29(7): 1-5. DOI: 10.16771/j.cn43-1247/ts.2022.07.001. TAO T, WU Y Q, DAI X D, et al. Research on the high-quality development of intelligent furniture manufacturing in China [J]. Furniture & Interior Design, 2022, 29(7): 1-5.
- [7] 张雪颖, 吴智慧. 板式家具实木化与实木家具板式化发展趋势探析[J]. 家具, 2016, 37(2): 1-5. DOI: 10.16610/j.cnki.jiaju.2016.02.001. ZHANG X Y, WU Z H. Study on the development trend of solid-type panel furniture and panel-type solid wood furniture [J]. Furniture, 2016, 37(2): 1-5.
- [8] XIONG X Q, GUO W J, FANG L, et al. Current state and development trend of Chinese furniture industry [J]. Journal of Wood Science, 2017, 63(5): 433-444. DOI: 10.1007/s10086-017-1643-2.
- [9] 刘垚彤, 吴智慧, 佟运辉. 基于 Topsolid 与酷家乐软件的实木定制家具数字化设计探讨 [J]. 家具, 2020, 41(2): 62-66, 99. DOI: 10.16610/j.cnki.jiaju.2020.02.014. LIU Y T, WU Z H, TONG Y H. Discussion on digital design of solid wood customized furniture based on Topsolid and Kujiale [J]. Furniture, 2020, 41(2): 62-66, 99.
- [10] 欧阳周洲, 吴义强, 陶涛, 等. 面向“中国制造 2025”的家具数字孪生车间构建与关键技术展望 [J]. 家具与室内装饰, 2022, 29(8): 1-7. DOI: 10.16771/j.cn43-1247/ts.2022.08.001.

- OUYANG Z Z, WU Y Q, TAO T, et al. Construction of furniture digital twin shop-floor(FDTS) and prospect of key technologies for "made in China 2025" [J]. Furniture & Interior Design, 2022, 29(8): 1-7.
- [11] 任淑琴, 赵东杰. 实木定制柜类家具标准化设计探究[J]. 居舍, 2019(35): 90-92.
- REN S Q, ZHAO D J. Research on standardized design of solid wood custom cabinet furniture[J]. Ju She, 2019(35): 90-92.
- [12] 邹亚洁, 张帆, 李黎. 实木定制家具的设计生产瓶颈与解决途径[J]. 林产工业, 2019, 46(3): 60-64. DOI: 10.19531/j.issn1001-5299.201903013.
- ZOU Y J, ZHANG F, LI L. The bottlenecks and solutions of design and production for solid wood customized furniture [J]. China Forest Products Industry, 2019, 46(3): 60-64.
- [13] 惠小雨, 吴智慧, 刘振新. 定制家居行业参数化三维设计软件应用评估[J]. 家具, 2020, 41(1): 14-18. DOI: 10.16610/j.cnki.jiaju.2020.01.004.
- HUI X Y, WU Z H, LIU Z X. Evaluation on application of parametric 3D design software in customized home furniture industry [J]. Furniture, 2020, 41(1): 14-18.
- [14] 熊先青, 岳心怡. 中国家居智能制造技术研究与应用进展[J]. 林业工程学报, 2022, 7(2): 26-34. DOI: 10.13360/j.issn.2096-1359.202107006.
- XIONG X Q, YUE X Y. Research and application progress of home intelligent manufacturing technologies in China[J]. Journal of Forestry Engineering, 2022, 7(2): 26-34.
- [15] 许香穗, 蔡建国. 成组技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- XU X S, CAI J G. Group technology [M]. Beijing: China Machine Press, 2003.
- [16] 任杰, 熊先青, 赵建忠, 等. 实木定制柜门的标准化设计[J]. 林业工程学报, 2022, 7(1): 197-204. DOI: 10.13360/j.issn.2096-1359.202103018.
- REN J, XIONG X Q, ZHAO J Z, et al. Research on standardized design of solid wood customized cabinet doors [J]. Journal of Forestry Engineering, 2022, 7(1): 197-204.
- [17] 徐俊华, 强明礼, 任海青, 等. 实木椅零部件的相似性与成组技术[J]. 林产工业, 2019, 46(7): 48-52. DOI: 10.19531/j.issn1001-5299.201907011.
- XU J H, QIANG M L, REN H Q, et al. The similarity and group technology of solid-wood chair parts[J]. China Forest Products Industry, 2019, 46(7): 48-52.
- [18] 郝景新, 吴新风, 唐志宏, 等. 定制家具的成组制造模式分析[J]. 林产工业, 2017, 44(8): 51-52, 56. DOI: 10.19531/j.issn1001-5299.201708012.
- HAO J X, WU X F, TANG Z H, et al. Group manufacture mode analysis of customized furniture[J]. China Forest Products Industry, 2017, 44(8): 51-52, 56.
- [19] 任杰, 熊先青, 唐远明, 等. 基于多属性交叉聚类的实木定制柜门零件族划分[J]. 林业工程学报, 2022, 7(3): 187-193. DOI: 10.13360/j.issn.2096-1359.202107019.
- REN J, XIONG X Q, TANG Y M, et al. Furniture part family division of customized wooded cabinet doors using multi-attribute cross clustering [J]. Journal of Forestry Engineering, 2022, 7(3): 187-193.
- [20] 任毅, 王雨凡, 杨越淳, 等. 深色名贵硬木家具零件分类成组研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(8): 166-175. DOI: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2022.08.017.
- REN Y, WANG Y F, YANG Y C, et al. Research on the classification of dark rare hardwood furniture parts [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2022, 42(8): 166-175.
- [21] 王华, 孙香, 吕丰, 等. 实木柜类家具零部件标准化研究[J]. 家具与室内装饰, 2022, 29(2): 72-77. DOI: 10.16771/j.cn43-1247/ts.2022.02.013.
- WANG H, SUN X, LYU F, et al. Research on standardization of solid wood cabinet furniture components [J]. Furniture & Interior Design, 2022, 29(2): 72-77.
- [22] 龙天南, 徐伟, 程洛林, 等. 基于成组技术的实木橱柜门标准化设计研究[J]. 林产工业, 2019, 46(8): 30-34. DOI: 10.19531/j.issn1001-5299.201908008.
- LONG T N, XU W, CHENG L L, et al. Research on standardization design of solid wood cabinet doors based on group technology [J]. China Forest Products Industry, 2019, 46(8): 30-34.
- [23] 陈越, 余肖红. 数字化设计技术在定制家具中的应用探析[J]. 家具与室内装饰, 2021(4): 26-29. DOI: 10.16771/j.cn43-1247/ts.2021.04.008.
- CHEN Y, YU X H. Analysis on the application of digital design technology in custom furniture [J]. Furniture & Interior Design, 2021(4): 26-29.
- [24] 任杰, 许柏鸣. 定制衣柜标准化零部件平台的动态优化研究[J]. 林产工业, 2019, 46(2): 64-67. DOI: 10.19531/j.issn1001-5299.201902013.
- REN J, XU B M. Research on dynamic optimization of standardized parts platform for customized wardrobe [J]. China Forest Products Industry, 2019, 46(2): 64-67.
- [25] 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. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0134.2018.07.022.
- 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.
- [26] 易礼琴, 何佳容, 张仲凤, 等. 基于 NX 软件和 MBD 技术的圈椅数字化模型构建[J]. 林业工程学报, 2023, 8(2): 180-186. DOI: 10.13360/j.issn.2096-1359.202208023.
- YI L Q, HE J R, ZHANG Z F, et al. Construction of digital model of round-backed armchair using NX software and MBD technology [J]. Journal of Forestry Engineering, 2023, 8(2): 180-186.
- [27] 邵兴德, 张继娟, 杜莹, 等. 基于 NX 的硬木家具模块参数化设计方法[J]. 林产工业, 2021, 58(2): 48-51. DOI: 10.19531/j.issn1001-5299.202102011.
- SHAO X D, ZHANG J J, DU Y, et al. Parametric design method of hardwood furniture module based on NX software [J]. China Forest Products Industry, 2021, 58(2): 48-51.
- [28] 郁舒兰, 尹晓惠, 刘艳阳, 等. 面向家具企业的数字化软件工具选型[J]. 家具, 2019, 40(6): 91-94. DOI: 10.16610/j.cnki.jiaju.2019.06.019.
- YU S L, YIN X H, LIU Y Y, et al. Selection of digital software tools for furniture enterprises [J]. Furniture, 2019, 40(6): 91-94.
- [29] 杨浚安, 吴智慧. 传统家具企业数字化转型路径及系统架构[J]. 木材科学与技术, 2022, 36(6): 32-40. DOI: 10.12326/j.2096-9694.2022091.
- YANG J A, WU Z H. Digital transformation path and system architecture for traditional home furniture companies [J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2022, 36(6): 32-40.