

“家居智能制造”专栏 (6) DOI: 10.12326/j.2096-9694.2021109

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。

面向智能制造的参数化三维设计 在定制家居产品中的应用

钟世禄¹, 张辉亮^{1,2}

(1. 南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037; 2. 江苏汉宁智慧家居有限公司, 江苏句容 212444)



摘要: 在传统行业向智能制造升级转型发展背景下, 分析目前定制家居产品设计及数据应用的现状, 阐述应用参数化三维设计的重要性, 并介绍参数化三维设计的方法和技术路径。以木门产品为例, 在系列化、标准化、模块化分析的基础上, 概述应用TopSolid软件约束块进行参数化三维设计建立零部件模型库和产品族装配体模型样板的流程和方法。根据产品装配结构拓扑关系进行修改或增减调换, 可快速地设计出满足客户需求的产品; 通过参数化三维设计软件平台, 可输出物料清单(Bill of Material, BOM)、数控加工编码等信息, 实现设计、制造和生产管理一体化的智能制造。

关键词: 定制家居智能制造; 参数化; 三维设计; TopSolid

中图分类号: TS61; TP391 文献标识码: A 文章编号: 2096-9694 (2021) 06-0020-06

Application of Parametric Three-dimension Design in Custom Intelligent Manufacturing of Interior Furnishing Products

ZHONG Shi-lu¹, ZHANG Hui-liang^{1,2}

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

2. Jiangsu Hanning Wisdom Furnishings Co., Ltd., Jurong 212444, Jiangsu, China)

Abstract: In the era of transferring from traditional industry to intelligent manufacturing, this paper analyzes the current situation of product design and data management of customized furnishing products, expounds the advantages and significance of parametric three-dimension (3D) design, and introduces a method of applying parametric 3D design in intelligent manufacturing. In this study solid wooden doors were custom manufactured based on the analysis of serialization, standardization and modularization. The parametric 3D design was conducted by using the constraint block of TopSolid software in setting up the part model bases and product family template models. Further, according to the topological

收稿日期: 2021-08-09; 修改日期: 2021-10-05

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); 江苏省苏北科技专项(SZ-SQ2019020)。

作者简介: 钟世禄(1971—), 男, 副教授。Email: sluzh@qq.com

relationship of product assembly structure, parametric 3D design was adjusted quickly and efficiently for individual customer requirements. The parametric 3D software can output BOM, NC code, and other information, which are conducive to promoting intelligent manufacturing integrating design, manufacturing and production management.

Key words: custom intelligent manufacturing of interior furnishings; parameterization; three-dimension design; TopSolid

近年来随着经济的高速发展, 家居市场消费快速增长, 为满足消费者对家居产品个性化、多样化的需求^[1], 定制家居正从板式到实木、从局部空间到全屋定制的多元化发展。随着“工业4.0”“中国制造2025”的提出, 传统制造型的家居行业开启了向数字化、自动化、智能化的升级转型, 家居产品制造需要在设计、生产、销售等全过程进行网络化、信息化、数字化和智能化的深度融合^[2]。参数化三维设计在融合发展方向上, 展现出传统二维计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)所不具备的优势, 可无缝对接计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)、企业资源计划系统(Enterprise Resource Planning, ERP)、产品生命周期管理(Product Lifecycle Management, PLM)、制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES)等软件和管理系统, 统一设计生产数据源头, 保证数据一致性和准确性, 打破设计生产数据孤岛, 使产品数据共享, 实现一体化生产^[1], 为企业设计生产效率的提升提供支撑。

1 定制家居企业产品设计及数据管理现状

智能制造是“工业4.0”和“中国制造2025”的核心^[3], 而实现智能制造的关键是数字化设计^[4]。近几年不少定制家居企业开启实施“工业4.0设计生产一体化”, 设计端的产品数据无缝对接到生产端, 使产品和数据互联, 确保所有数据加工的精确度, 实现前端销售设计-工艺设计-数控生产-数据统计的一体化, 推进无纸化生产管理^[5], 大幅度减少对人工的依赖, 提升企业效益。但家居企业规模和技术力量千差万别, 数字化设计与制造技术的应用水平参差不齐。

1) 以二维设计为主的CAD技术仍然被广泛应用。二维CAD技术应用历史较长、普及较广, 虽

然能够快速高效地进行工程图设计, 但在展示家居产品材质、色彩以及设计较为复杂的曲面造型等方面存在欠缺, 需要另外绘制产品效果图, 这无疑增加了设计工作量^[6]; 而且二维CAD工程图纸不能呈现“所见即所得”的全景效果^[1, 7]。而传统的三维建模技术, 典型以3DMax、Rhino渲染效果图的模式为主^[8], 虽然能够很好地表达产品效果, 但较少考虑零部件之间的几何装配约束关系, 且需要重复设计绘制, 模型利用率较低, 产品开发周期较长。对于很多先进的数控加工设备, 仍然需要重复建模生成加工代码或手动编程, 效率低下, 产品设计和加工成本较高^[6, 8]。总之, 面对日益复杂与个性化的创造性设计和日益紧迫的交货时间要求, 以及越来越多生产设备的智能化升级, 二维CAD等传统技术已经暴露出诸多不足和弊端。

2) 产品数据全局化统一和管理应用不足。近年来, 虽然很多定制家居企业在前端门店展示和接单时采用了酷家乐、三维家等平台, 但由于没有统一标准, 产品数据管理不规范或未信息化, 后端生产仍主要使用二维CAD软件绘制打印的纸质图纸^[7]。当前端设计更改定制产品时, 由于缺乏设计生产一体化的平台, 前后端常常不能自动关联更新, 甚至出现不同工作人员对零部件的命名不统一, 且还需人工制作工艺流程表和物料清单等问题^[9]。当产品数据改动时, 所有文件都要一一修改, 来来回回地重复设计和多次修改, 很容易造成疏漏, 从而导致后端生产环节出错^[7-8]。

另外, 目前定制家居企业普遍采用跟单制, 即一个客户的定单, 从量尺开始, 到设计、生产、安装, 都由一位设计人员全程跟踪, 各自包干。定制产品的数据从设计阶段进入生产、安装环节, 全部由一人完成, 缺乏第二人管理审核, 业务流程欠完善和规范, 不利于产品数据质量监管。

3) 软件种类多, 数据格式不一, 不能自动转换或对接和集成共享。在定制家居企业, 从门店销售展示到设计、生产、包装和安装, 通常会用到设计、拆单、排版和数控加工等多种软件, 包括 TopSolid、SolidWorks、ThinkDesign 等软件, 以及 MES 系统、ERP 管理、仓储管理、客户关系管理、销售管理等信息管理软件。很多企业在采用各种软件时, 往往只考虑应用软件自身的功能以及眼前的局部需求, 没有长远的统筹规划, 缺乏二次开发集成接口, 导致很多应用系统之间没有统一的技术和数据标准, 数据不能自动传递, 数据转换麻烦且难以保持完整性, 且各系统之间不能有效地关联和共享, 造成数据冗余等问题, 形成信息孤岛。而且, 有的企业更换软件较频繁, 在软件应用方面缺乏连续性、稳定性, 给数据备份和查询带来困难, 且易产生兼容性问题, 不利于设计模型重复利用及数据共享。

2 参数化三维设计的特点及应用方法

2.1 参数化三维设计的特点

参数化三维设计相对于传统二维设计, 在数字化设计和制造方面具有明显优势, 在家居行业应用的参数化三维设计软件, 包括 TopSolid、

SolidWorks、ThinkDesign 等, 不仅具有参数化建模、基于特征建模、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改等特点, 而且可以对前端设计及后续工作提供支持, 如生成物料清单 (Bill of Material, BOM)、工艺规划、CAM、三维工装夹具、装箱规划、安装动画、三维立体组装文件及说明书、宣传推介资料, 提供售前与售后服务支持, 甚至 3D 打印和 AR/VR 的实际应用。这些特点使贯穿于企业生产链的三维化产品设计模型, 成为唯一的数据源头和关键, 也就是说, 任何一个环节对产品的要求和修改都可以映射到设计建模上。由此可见, 采用参数化三维设计, 不仅有利于提升整体效率, 实现数据共享, 消除企业数据“孤岛”^[10], 而且有利于关联生产工装夹具、刀具, 处理异型加工等, 使售后安装可视化, 可以用 3D 实体虚拟装配形式展现零部件之间的结构关系^[11]。

2.2 参数化三维设计的应用方法

方案设计是定制家居生产的重要环节之一。采用三维参数化设计, 可以先建立模型库, 从中调用产品模型, 更改相关的参数, 从而快速、精确地产生新的产品方案, 即变型设计。要完成面向智能制造的高效、高质量的变型设计, 技术路径如图1所示。

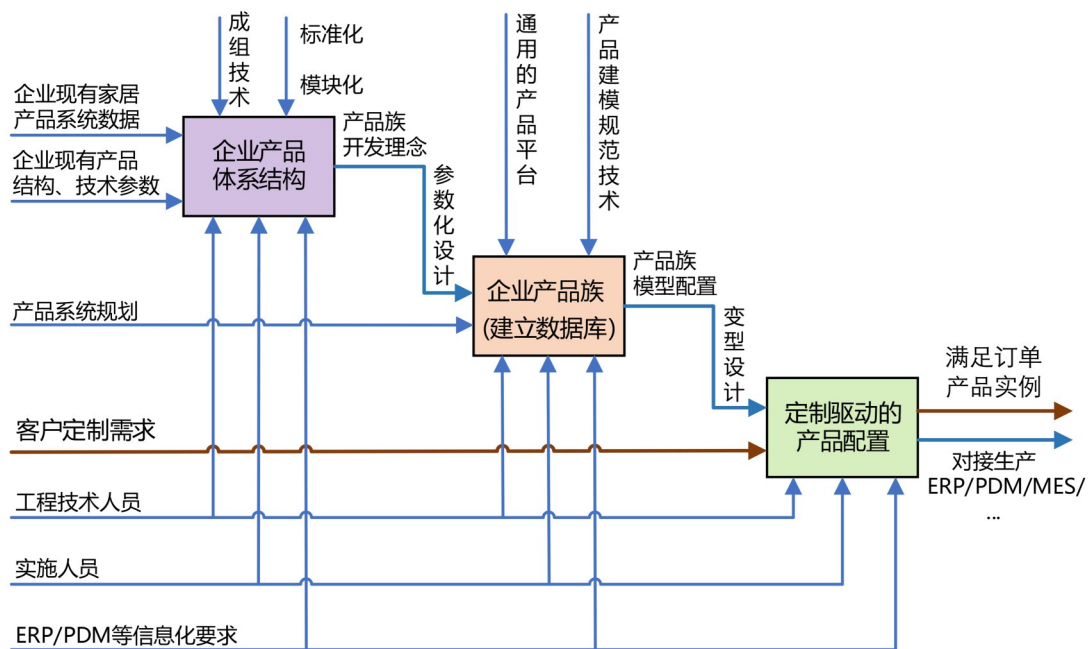


图1 面向智能制造实施参数化三维设计的技术路径

Fig.1 An approach of parametric 3D design for intelligent manufacturing

运用成组技术、产品标准化、模块化等先进制造理论和方法，对企业各种产品进行归类分析，将具有相似结构、功能和生产工艺的归为同一产品族，进一步将结构、材料、工艺相近的零部件也分成零部件组（族），并划分标准件和非标件，使用三维软件对产品系列创建参数化立体模型，形成模块化、系列化、标准化的通用性产品零部件模型库^[1, 8, 12-15]。结合“面向制造的设计（Design for Manufacturing, DFM）/面向装配的设计（Design for Assembly, DFA）”的理念^[16]，在参数化建模时，可将后续制造工艺、装配约束关系等技术参数和加工要求加入模型中，利用模型的继承特性，变型设计后可保持延续使用。在根据需求修改时可实现同步更新，并可按需导出设计制造BOM，或直接传递给PDM/ERP/MES，实现设计、制造和生产管理一体化，产品数据的统一与多方利用，促进效率提升。

3 参数化三维设计的应用实例

与板式定制家具相比，实木定制家居生产工艺更繁琐，设备加工程序编码也更复杂。实木定制家居产品主要包括木门、柜类、楼梯等^[8]，本文以实木门产品为例，简要说明参数化三维设计的应用过程。

3.1 木门系列产品族的规划

通过深入分析木门类产品的结构和功能，按照前文所述技术路径和方法，构建木门类产品族的主体层次结构如图2所示。其中零部件有可选件、必选件。根据产品结构组合，预建系列产品的的基础模型样板，模型必须具有代表性，要包括系列产品的全部结构特征，可根据设计需求修改尺寸、特征等参数^[15]。

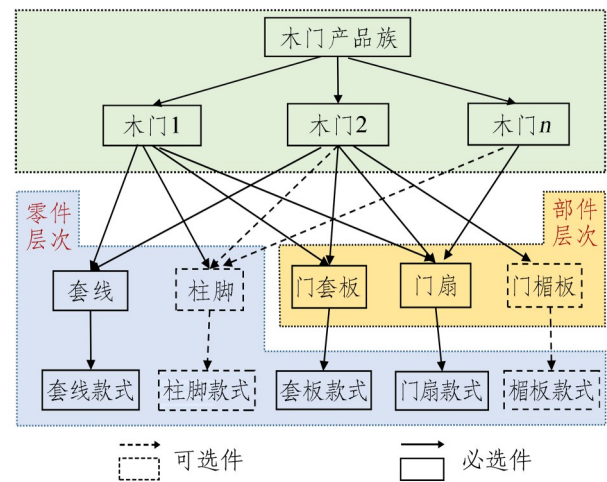


图2 木门产品族层次结构示意图
Fig.2 Wooden door product family structure

图3所示为某系列实木门的四种基本装配套型。



图3 某系列实木门四种装配套型
Fig.3 Four sets of assembled wooden doors

3.2 木门系统的参数设计

一套木门主要由门扇、门套板、套线等组成。其中，门扇又可分解为芯板、门梃（左、右）、冒

头（上、中、下）和扣线条（如图4所示）。木门门扇的高度、宽度，会随着建筑墙体上门洞的高度和宽度而变化，因此，分析并设定门扇的变化

规律是保证木门产品整体保持协调外形比例的关键^[14]，同时也要在考虑整个木门产品系统中各模块的相互装配关系和约束性的条件下，合理设计其他相关模块的参数，并设置特征参数属性是否为驱动，通过参数和表达式驱动尺寸与产品零部件模型之间建立关联^[15]，以保证木门单元各模块能保持规律变化且获得板件变量的尺寸。

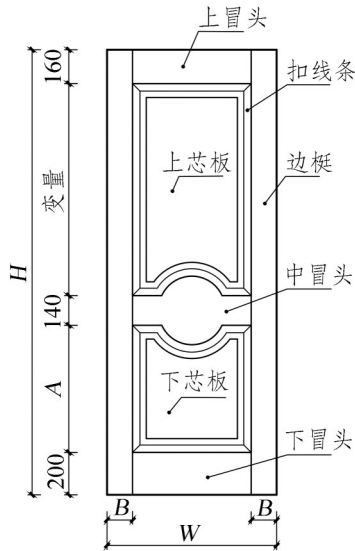


图4 门扇的组成
Fig.4 Composition of a wooden door

以图4门扇款型为例，根据木门组成构件的变化规律，其参数设计列于表1。其中，门扇高度 H 和宽度 W 由关系式表达，反映门扇的规格尺寸与门洞尺寸相关联（限于篇幅，门洞、门套板与胶缝等相关细节及参数图示省略）；中冒头偏移量 y 反映中冒头因门扇高度 H 、下芯板高度 A 取值不同而变化的规律（当门扇高度 $H \geq 2\,060\text{ mm}$ 时， $A=600\text{ mm}$ ；当 $1\,950\text{ mm} \leq H < 2\,060\text{ mm}$ 时， $A=560\text{ mm}$ ；而当 $H < 1\,950\text{ mm}$ 时， $A=520\text{ mm}$ ）；边梃宽度 B 则与门扇宽度 W 相关^[14]（当门扇宽度 $W > 700\text{ mm}$ 时， $B=120\text{ mm}$ ，否则 $B=110\text{ mm}$ ）。

3.3 木门参数化模型的创建与应用

在产品系列化、参数化分析基础上，采用TopSolid软件对产品零部件进行三维立体建模，利用“约束块”的作用，关联复制绝对坐标系，结合各个参数和关系式（表1）创建木门的每一个零部件，并定义各个零部件的相关属性，按照实际的组装逻辑关系设定装配定位关键点，且根据产

品的实际形状、尺寸、结构，对模型进行数据测试，以校验模型中各变量、各零部件之间的约束变化规律是否正确^[14]，确保建立切实可行的零部件基础款式模型库。

表1 木门相关参数表
Tab.1 Parameters of a wooden door

参数	参数描述	参数关系式	初始值/mm	驱动
h	门洞高度		2 100	是
w	门洞宽度		900	是
D	门洞深度		240	是
H	门扇高度	$h-(jf+mt+m_1+m_2-m_{ts})$	2 050	否
W	门扇宽度	$w-2*(jf+mt+m_1-m_{ts})$	810	否
jf	胶缝		10	否
mt	门套板厚度		40	否
m_1	门扇与门套间隙		3	否
m_2	门扇与地面间隙		5	否
m_{ts}	门套开口深度		8	否
sm	上冒头宽度		160	否
zm	中冒头宽度		140	否
xm	下冒头宽度		200	否
A	下芯板高度	when ($H \geq 2\,060\text{ mm}$, 600 mm, when ($H \geq 1\,950\text{ mm}$, 560 mm, 520 mm))	560	否
y	中冒头偏移量	$A+xm$	760	否
B	边梃宽度	when ($W > 700\text{ mm}$, 120 mm, 110 mm)	120	否

注：表中仅列部分相关的主要参数。

进一步根据木门产品的结构组成，参照图5所示流程，从零部件模型库里选调需要的零部件，按照结构拓扑关系和参数约束以及装配逻辑次序进行组装，并通过干涉检查后，保存某款型木门产品的三维参数化装配模型样板（图6）。依此流程和方法，预先建立各系列家居产品族库（如图3所示样例）。当按客户需求修改或新定制设计时，可根据实际情况快速修改尺寸或增减和调换零件、部件款式模型，在图6所示的软件左侧目录树中修改“实体集合—参数集合”中相关参数值，使模型零部件、整体尺寸等满足定制的要求^[14]。而且，通过TopSolid软件平台还可输出BOM，清晰列出各个零部件的长、宽、厚度尺寸和数量，材质、颜色，生产工艺流程、所用刀具，以及二维工程图等各种信息，可对接上传ERP/MES系统进行管理和生产^[8, 14]，为智能制造奠定数据基础。

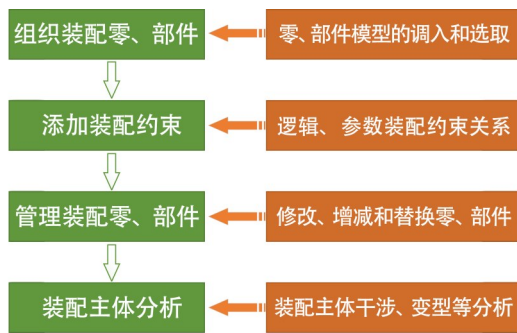


图5 模型装配流程

Fig.5 Model assembly process

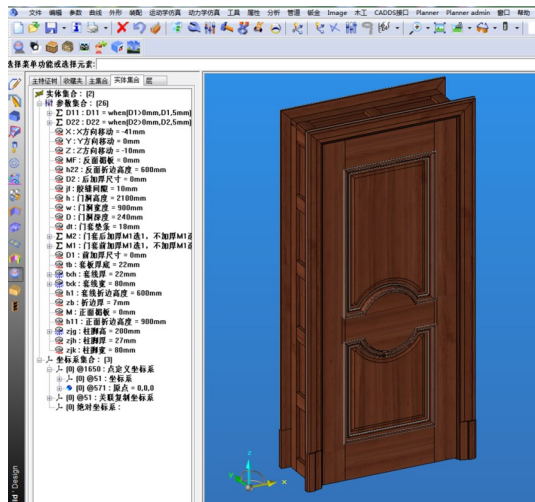


图6 木门装配模型

Fig.6 The assembly model of a wooden door

4 结语

在家居市场竞争越来越激烈的背景下, 高效率、短周期的设计与制造模式是家居企业生存和发展的最佳方向。定制家居尤其是实木家居产品定制企业, 要提高设计生产的质量与效率并向智能制造迈进, 就不能浮于表面或只是简单粗浅地应用参数化三维设计软件, 应当综合模块化、通用化、系列化设计和成组技术、柔性生产等先进技术理论和方法, 通过建立模型库促进产品标准化、模块化, 充分利用参数化三维设计的优点, 在设计阶段即融入产品数据全局统一管理的方式, 将产品加工和装配等信息包含在数字模型中, 确保前后端数据统一, 通过适当的集成或数据接口的开发, 完整的数据共享, 实现设计和生产管理一体化, 设计与制造数字化, 工艺流程标准化, 数字控制 (Numerical Control, NC) 代码输出、工程出图自动化等。本文仅以木门为例阐述了参数

化三维设计的应用方法, 其他类定制家居产品可参考此方法, 逐步提升数字化设计水平, 实现规范化、标准化的智能制造。

参考文献:

- [1] 惠小雨, 吴智慧, 刘振新. 基于TopSolid软件的实木定制家具一体化全流程解决方案探究[J]. 家具, 2020, 41(3): 65-69.
- [2] 祁忆青, 徐然, 俞大飞. 家具产业数字化转型与智能制造[J]. 家具与室内装饰, 2021(8): 68-71.
- [3] 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]. Journal of Forestry Engineering, 2018, 3(6): 11-18.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 丁伟, 刘晓宏. 面向大规模定制的三维与二维一体化家具设计方法[J]. 家具, 2017, 38(4): 42-44.
- [7] 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.
- [8] 刘焱彤, 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.
- [9] 刘瑞, 郁舒兰, 邱富建, 等. 实木家具数字化标准化设计平台的设计规范[J]. 家具, 2019, 40(3): 28-32.
- [10] 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.
- [11] 范彩霞, 韦尧兵. 基于TopSolid的三维工序图模型创建研究[J]. 机械工程师, 2006(11): 77-78.
- [12] 王天野, 郁舒兰, 黄琼涛. 基于TopSolid的美式家具产品库构建及其标准件分析研究[J]. 家具, 2019, 40(3): 18-22.
- [13] 刘炯, 刘子川, 马英. 基于TopSolid的简化家具装配几何界面设计[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(1): 171-175.
- LIU G, LIU Z C, MA Y. Geometric interface design of simplified furniture assembly by TopSolid[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2012, 32(1): 171-175.
- [14] 张辉亮, 钟世禄, 王双科. 基于TopSolid平台的家居产品族的建立与应用研究[J]. 家具, 2018, 39(1): 68-73.
- [15] 刘炯, 刘子川, 马英. TopSolid平台下柜类家具智能标准柜库的研究与实现[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(10): 133-137.
- LIU G, LIU Z C, MA Y. Implementation of intelligent standard database for cabinets furniture under TopSolid platform[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2010, 30(10): 133-137.
- [16] 范玉斌, 刘闯, 吴红兵, 等. 全三维模型驱动的复杂产品智能制造[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(6): 1176-1186.
- FAN Y B, LIU C, WU H B, et al. Intelligent complex product manufacturing driven by complete three-dimensional model [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(6): 1176-1186.

(本文编校 向琴)