

# 大规模定制家具柔性制造系统构建与关键技术

熊先青<sup>1</sup>, 刘慧<sup>1</sup>, 庞小仁<sup>2</sup>

(1. 南京林业大学家居与工业设计学院, 江苏南京 210037; 2. 浙江升华云峰新材股份有限公司, 浙江德清 313220)

**摘要:** 通过分析柔性制造系统(FMS)的基本原理和运行特点, 结合大规模定制家具生产中的问题, 阐述搭建大规模定制家具FMS系统平台的必要性和可行性, 提出构建大规模定制家具FMS系统的三大关键技术: 标准化产品设计与工艺规范、模块化柔性生产、信息化动态管控, 并对关键过程进行解读, 为我国大规模定制家具企业实施柔性制造提供参考。

**关键词:** 大规模定制家具; 柔性制造系统(FMS); 标准化产品与工艺; 模块化生产; 信息化管控

中图分类号: TS664; TH165 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654(2019)02-0020-05

## Flexible Manufacturing System for Mass Customization Manufacturing in Furniture Industry

XIONG Xian-qing<sup>1</sup>, LIU Hui<sup>1</sup>, PANG Xiao-ren<sup>2</sup>

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

2. Zhejiang Shenghua Yunfeng Greeno Co., Ltd., Deqing 313220, Zhejiang, China)

**Abstract:** This paper presented theoretical principles and operational configuration of flexible manufacturing system (FMS). Applications of the FMS platform in furniture industry were explored based on feasibility and necessary study results. Three key elements of the FMS were further discussed in detail, including standardized product design and process regulations, modularized flexible manufacturing system, and dynamic information management and control. Working process of the FMS model was also explained for reference to furniture industries in China.

**Key words:** mass customization furniture; flexible manufacturing system (FMS); standardize products and processes; modular production; information control

柔性制造是针对大规模生产的弊端而提出的一种新型制造模式, 能更好地满足大规模定制家具客户和生产的需求, 现已成为大规模定制家具生产转型升级的优选方案<sup>[1-2]</sup>。鉴于此, 笔者在分析大规模

定制家具制造过程现状的基础上, 针对家具企业面临的制造问题, 阐述实施柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)的必要性, 提出满足巨大消费群体个性化定制家具柔性制造的架构, 以满足生产过程快速、可调控性、柔性的需求, 实现定制家具低成本、高质量智能制造。

### 1 柔性制造的基本原理与必要性

#### 1.1 柔性制造的基本原理<sup>[3]</sup>

柔性制造的运行, 必须依靠成组技术(Group

收稿日期: 2018-06-10; 修改日期: 2018-10-08

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项目(TIAWBI201808); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

作者简介: 熊先青(1974—), 南京林业大学家居与工业设计学院副教授。

Technology, GT)原理<sup>[4-5]</sup>,即根据零部件的生产工艺特性进行零部件族规划,规划后的零部件毛坯在由数控机床(Computer Numbering Control, CNC)设备、普通设备和各类软件构成的加工系统中进行优化运算,并依据中央计算机发出的指令,完成各工序加工。

柔性制造运行的核心功能是,在不停机的情况下,实现多品种工件的加工。从生产能力的角度看,运行过程具备柔性反应能力,即机器设备的小批量生产能力,其关键是生产线的反应速度;从信息化管理的角度看,运行过程必须能够快速适应产品变化,即供应链的敏捷和精确的反应能力<sup>[6-7]</sup>。

### 1.2 搭建大规模定制家具FMS平台的必要性

中国家具大规模定制生产于20世纪90年代初期提出,2010年以后企业利用工业化和信息化的融合,通过制造模式的改变,现已初现成效,但成熟度还不够<sup>[8-9]</sup>,表现在:

制造过程的关键技术手段有待解决;企业竞争和市场快速响应的能力有待加强;各种不确定性因素对企业产生的影响有待消除或减少。因此,利用生产线的改造、数字化转型,和变“信息孤岛”为信息集成与共享,是解决问题的根本。

#### 1) 生产线的重组。

大规模定制家具企业在制造过程中,要解决的核心问题是,大批量生产与个性化定制两种看似互相对立生产模式的融合,在缩短交货周期的同时,提高机床的利用率,并将工人、机器设备和物料所需的空间进行最恰当的分配和最有效的组合。因此,重新构建生产线规划和工艺流程管理方案,更加合理的布置流水线机加工区域是关键所在。

#### 2) 生产过程的数字化转型<sup>[10-11]</sup>。

数字技术已正逐渐融入到家具产品制造、服务与流程当中,企业通过现代信息技术、通信手段、和数字化技术的逐渐改变,为客户创造价值。因此,在生产端需要用信息化的手段,改造常规的大批量生产设备。从压缩准备时间出发,形成各个低成本、高产出的制造单元,逐步实现全流程的数字化和柔性化改造,最终实现企业的数字化转型。

#### 3) 管控过程的信息集成与共享。

大规模定制家具企业面临的另外一个问题是制造过程的快速响应。如何连接信息孤岛、确保信息规范、使整个定制过程共享数据资源,是提高效率、实现大规模定制生产的关键,而解决此问题的核心就是改变制造模式。

实施“柔性化制造”符合大规模定制家具的实际情况,能更进一步推动行业转型升级,在面对市场快速变化时,无需浪费或增添大量的企业资源而实现家具生产和智能制造<sup>[12]</sup>。

## 2 大规模定制家具FMS的关键技术构建

本研究是在生产实践的基础上,结合FMS的基本理论,考虑如何对某一类产品或某些关键零部件实现柔性加工,也包括对工件、原材料、工具和辅料的无障碍、零距离配送以及信息化的管控过程。

搭建的大规模定制家具FMS系统关键技术架构平台如图1所示,主要包括:标准化产品设计与工艺规范技术、模块化柔性生产技术和信息化动态管控技术。

总体思路是从产品设计过程的标准化入手,从不同设备的加工基础入手,形成多个产品族,并结合工艺规范技术和管控过程标准化流程,形成FMS的标准化技术;以零部件加工过程为中心、以产品

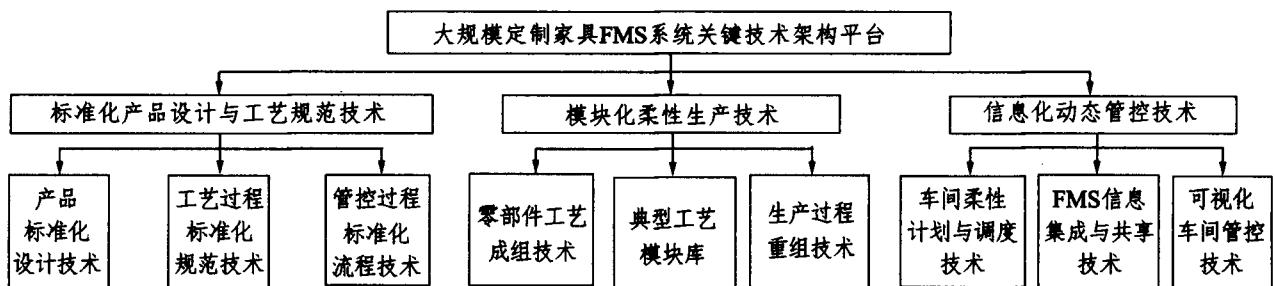


图1 大规模定制家具FMS系统关键技术

Fig.1 Key elements of FMS model for mass customization furniture manufacturing

族的形式建立相应的模块,采用灵活多变的加工模式,实现模块化的柔性化生产技术;依据信息技术和数字化技术对各类信息进行集成,实现FMS的动态管控技术。

## 2.1 标准化产品设计与工艺规范技术

标准化产品设计与工艺规范技术的主要内容:

1) 产品设计时,尽量使用通用零部件的规格,并通过新产品开发来继承和兼容标准零部件,体现产品设计柔性<sup>[13-14]</sup>;2) 制定标准的工艺过程规范,由面向单一产品和零件转为面向产品族,通过工艺过程快速变化体现工艺柔性;3) 管控过程规范化技术,保证家具产品的质量、性能和技术要求。

### 2.1.1 产品标准化设计技术

开发和建立定制家具产品的三维参数化零部件数据库,是实施大规模定制家具FMS的基础。产品标准化设计是通过简化设计,建立家具产品族的规划与数字化标准模块,并依据成组分类与信息编码技术,制定家具编码的档案管理体系、形成产品和零部件的标准化化管理。

### 2.1.2 工艺过程标准化规范技术

工艺标准化技术是实施大规模定制家具FMS的重要保证,主要包括<sup>[15]</sup>:工艺术语与符号标准化;加工余量、公差、工艺规范等工艺要素标准化;刀具、机床夹具、机床辅具等工艺装备标准化;工艺规程、工艺守则、材料定额等工艺文件标准化。

### 2.1.3 管控过程标准化流程技术

标准化管控过程是实施大规模定制家具FMS的手段,其关键是依据信息化管理,将相同零件组的典型工艺、某工序的典型工艺、标准件和通用件典型工艺等,通过数字化处理,从而形成标准的数字化工艺过程;并将家具生产过程中的各环节及相关因素形成统一的标准,实时收集生产过程中数据并做出相应的分析和处理,为企业提供快速反应、有弹性、精细化的生产环境。

## 2.2 模块化柔性生产技术

模块化生产工艺是依据大规模定制家具的内涵,提取产品族或零部件族及其典型工艺特点的共有属性,形成参数化典型工艺和典型工艺模板,并通过相应的参量驱动规则,使得新的工艺不断扩展,构成典型工艺模板库,形成柔性生产的工艺模块。

与此同时,可采用零件生产过程分析对产品族零件生产过程进行重组,这样既可减少换刀和调刀时间,又可缩短被加工零件的首件确认时间及零件流动距离<sup>[16-17]</sup>。

### 2.2.1 零部件工艺成组技术

对定制家具产品,将结构、功能和工艺相似的产品进行分类,依据成组技术模型分析,形成成组技术方案,通过工艺路线匹配与分组,实现从订单式生产方式向揉单式生产方式的转变,从而完成自动揉单与零部件制造过程流转。

零部件在分类流转过程中,应规范所有零部件的加工路线,将加工任务细化至具体的工序位置,才能提高零件的生产效率与出材率。

### 2.2.2 典型工艺模块库构建

依据大规模定制家具产品结构特征和工艺特征,可将典型工艺模块分为三大部分<sup>[18]</sup>:

1) 零部件族的典型工艺模块。利用成组技术,对揉单的零件,按结构相似、尺寸相近且具有类似工艺特征进行分类归组。

2) 工序的典型工艺模块。以工序为对象,将该工序中所有零件的相同工艺要素建立典型工艺模板,构成典型化的工艺模块。

3) 标准件和通用件的典型工艺模块。无需分类分组,可直接编成供操作者使用的典型工艺过程卡。

将上述三种典型工艺模块通过典型工艺规程,以数字化的形式进行建模,形成典型工艺模块库。

### 2.2.3 生产过程重组技术

实际生产过程中,应通过生产过程重组技术,在减少辅助加工时间的同时,尽可能地将订单式生产向揉单式生产转变过程中尺寸和形状相同的零件进行集中备料,将功能和工艺相似的零件集中生产,在加工方式上尽量采用通过式加工和工序分化的形式来实现。

## 2.3 信息化动态管控技术

### 2.3.1 车间柔性计划与调度技术<sup>[16]</sup>

实际生产过程中,当个性化订单计划完成后,FMS可对零部件、产品、工艺路线等信息进行分析,实现车间的柔性计划与调度。另外,FMS还可实现对车间产量、加工数据的实时收集,从而降低人工统计工作量,从根本上杜绝错件、漏件、补件问题。

2.3.2 FMS 信息集成与共享技术

FMS 的数据来源往往由其他功能软件（ERP、MES）提供，并实现数据在功能软件和设备间的共享与传递。因此，大规模定制家具 FMS 系统信息集成与共享技术应分两个部分，如图 2 所示。

1) 相关功能软件的集成。

实际应用过程中，FMS 系统与功能软件的集成，主要是使用数据库技术，实现生产信息在 ERP、MES、SCM 等系统中共享。ERP 为 FMS 提供物料、采购、销售等基础数据；MES 为 FMS 提供物料需求计划、产成品产出计划、成本计划等。

FMS 生产过程中为 ERP 和 ME 提供的关键数据，对设备、质量等多模块具有很大的改进作用。同时，FMS 与自动仓储系统间的集成，可实时统计生产订单的配套表、生产领料单和生产退料单的物料净出库量信息。

FMS 还可结合 MES 系统以零部件标签扫描的方式记录工序加工情况，门店与客户通过电脑或手机等移动终端即可进行订单跟踪查询。

2) 与外围设备间的集成。

FMS 系统与外围设备的集成，包括加工信息与数控设备的对接、工件在车间的流转和现场信息反馈等方面。其中，加工信息与数控设备的对接，主要是依据企业设计软件（如 2020、topsolid）、优化软件（如 CUTRITE）、数据机床加工软件（如 IMOS）等之间的数据对接；工件在车间的流转，是利用智能物流技术，通过自动导引车（Automated guided vehicle, AGV），进行加工过程中物件的自动定位转移，或配送到相应工序；现场信息反馈，是在柔性制造过程中，通过 MES 系统中的数据，实时显示加工数据、各工段的计划完成、订单下单等情况。

2.3.3 可视化车间管控技术<sup>[19]</sup>

柔性制造可视化车间管控技术，是依托 ERP 系统、MES 系统、数据采集设备等组成的实时动态监控技术，由现场数据采集、数据处理与分析、现场信息反馈等模块构成。通过车间各岗位标签扫描，实现加工时间、加工进度、设备产能等数据的实时采集，LED 屏实时显示。车间管控过程如图 3 所示。

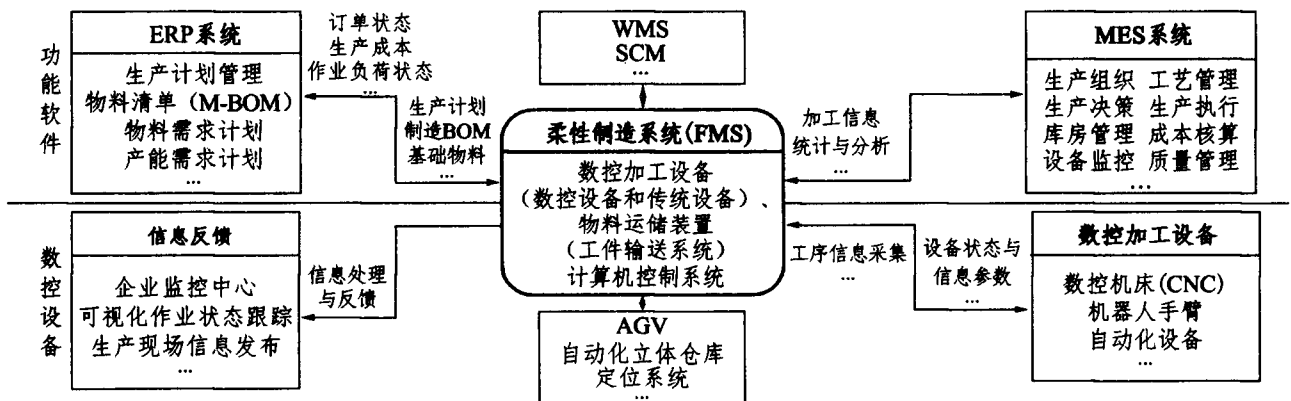


图 2 大规模定制家具 FMS 信息集成与共享

Fig.2 FMS information integration and sharing in mass customization furniture manufacturing

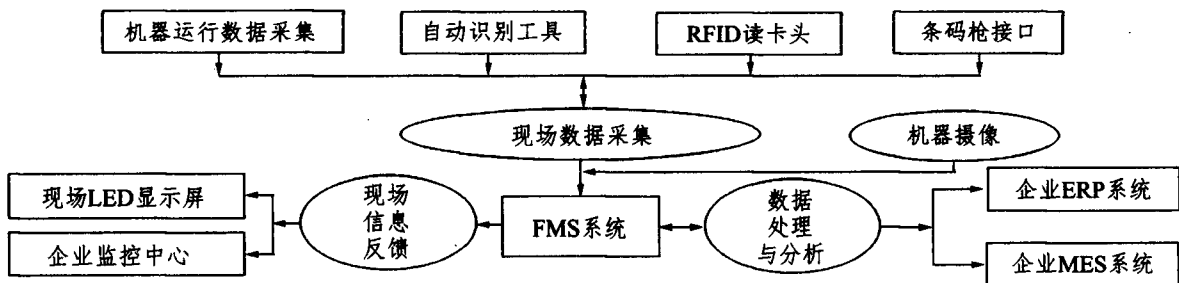


图 3 大规模定制家具 FMS 车间管控过程

Fig.3 Control process of a FMS equipped workshop in mass customization furniture manufacturing

### 3 结语

实施大规模定制家居柔性制造的优势体现在,充分考虑了企业订单中产品的种类、数量、样式、交货日期等诸多不确定因素,使得企业的生产系统相应具有动态响应能力,同时,以模块化为主的标准化设计体系,以信息交互与管控技术为主的管理方式,不仅仅降低库存成本和风险,更重要的是实现生产过程的柔性化,将定制产品的生产问题,通过产品结构和制造过程的重组,全部或部分地转化为批量生产,又能满足客户的个性化需求,实现个性化和大批量生产的有机结合。

文中提出的柔性制造系统(FMS)理念,对整个大规模定家具企业进行定制化生产具有一定的借鉴作用,但由于家具生产和结构的特殊性,而且FMS涉及的信息集成系统领域和范畴较广,系统研究还处于初级摸索阶段,其组成结构、管理功能及具体实施模式,有待于进一步优化。

### 参考文献:

[1] 杨文嘉. 新工业革命对家具制造业的影响[J]. 家具, 2013, 34(1): 5-7.  
 [2] 熊先青, 刘慧, 朱脚脚, 包瑜亮, 吴智慧. 定制家居产业链协同发展的思考[J]. 木材工业, 2018, 32(2): 18-27.  
 [3] 吴智慧. 工业 4.0 时代家具产业的制造模式[J]. 林产工业, 2016, 43(3): 6-10.  
 [4] 许香穗, 蔡建国. 成组技术(2版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.  
 [5] 熊先青, 赵琳琪, 王承飞, 黄琼涛, 张圣清. 基于成组技术的儿童家具实木零部件标准化设计研究[J]. 林业工程学报, 2018, 3(1): 135-140.

[6] Li R, Cao P, Zhang S, Xu W, Ekevad M, Guo X. Prediction of cutting force during gypsum fiber composite milling process using response surface methodology [J]. Wood and Fiber Science, 2017, 49(4): 453-460.  
 [7] Li R, Guo X, Cao P, Wang X. Optimization of laser cutting parameters for recombinant bamboo based on response surface methodology [J]. Wood Research, 2016, 61(2): 275-285.  
 [8] 熊先青, 吴智慧. 大规模定制家具的发展现状与应用技术 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, 26(5): 87-92.  
 [9] Xiong Xian-qing, Guo Wei-juan, Fang Lu, Zhang Min, Wu Zhi-hui. Rong Lu, Tetsuo Miyakoshi. Current state and development trend of Chinese furniture industry [J]. Journal of Wood Science, 2017, 64(5): 433-444.  
 [10] Jiamin Wu, Yan Wu, Feng Yang, Caiyun Tang, Qiongtao Huang, Jilei Zhang. Impact of delignification on morphological, optical and mechanical properties of transparent wood [J]. Composites Part A, 2019, 117: 324-331. DOI: 10.1016/j.compositesa.2018.12.004.  
 [11] 熊先青, 郭伟娟, 黄琼涛, 等. 家具数字化制造质量管控技术研究[J]. 林业工程学报, 2017, 2(4): 152-157.  
 [12] 毛磊, 闫超. 面向大规模定制下的家具柔性化制造体系[J]. 林业机械与木工设备, 2015, 43(7): 35-37.  
 [13] 郭伟娟, 熊先青, 唐远明, 庞小仁. 基于 2020 软件的大规模定制衣柜信息交互技术 [J]. 林业工程学报, 2018, 3(2): 153-158.  
 [14] 龙天南, 徐伟, 沈忠民, 吴智慧. 实木橱柜门标准化结构设计研究 [J]. 家具, 2018, 39(6): 11-14.  
 [15] 吴智慧, 朱剑刚. 家具企业实现大规模定制的技术体系 第四讲: 大规模定制的工艺规划体系 [J]. 家具, 2011, 32(4): 111-114.  
 [16] 贾晔, 李军, 丁艳. 基于模糊聚类算法的定制厨柜零件分类制造技术 [J]. 林业工程学报, 2016, 1(3): 133-138.  
 [17] 徐立城, 徐伟, 黄琼涛. 基于人-机作业分析的梳齿榫开榫工序优化研究 [J]. 家具, 2018, 39(6): 6-10.  
 [18] 熊先青, 蔡琦, 吴智慧, 黄琼涛. 大规模定制家具生产线规划与车间管理关键技术的研究[J]. 林产工业, 2013, 40(2): 17-21.  
 [19] 熊先青, 庞小仁, 吴智慧, 黄琼涛. 可视化木家具生产车间全程监控系统的构建[J]. 林业科技开发, 2014, 28(6): 109-113.

(责任编辑 向琴)

(上接第 15 页)

### 参考文献:

[1] 周玉申. 木材加工粉尘治理技术与综合利用研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.  
 [2] 周曦禾, 周捍东, 丁涛, 等. 木材加工企业木粉尘燃爆成因剖析及其防控[J]. 林产工业, 2015, 42(11): 49-52.  
 [3] 丁涛, 周捍东, 田爱军. MDF 砂光粉除尘装置滤料阻力的研究[J]. 木材加工机械, 2012, 23(6): 9-11.  
 [4] 邢成, 丁涛, 李智, 等. 基于图像法的刨花板钻孔粉尘尺寸和形态分布研究[J]. 林业工程学报, 2018, 3(1): 21-25.  
 [5] 邢成, 丁涛, 周捍东, 等. 粒度粒形分布特点对板材锯切和油漆砂光粉尘流动性的影响[J]. 林业科学, 2018, 54(12): 142-148.  
 [6] 杨敏杰, 丁涛, 黄山, 等. 秸秆碎料制备作业场所可吸入颗粒物的评估[J]. 木材工业, 2012, 26(4): 29-31.  
 [7] 赵江平, 万抗炜. 桑木粉尘最低着火温度的试验研究[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(12): 26-31.

[8] 陈国华, 江湖一佳, 王新华. 红木粉爆炸特性实验研究[J]. 消防科学与技术, 2016(9): 1200-1203.  
 [9] Chin Y S, Darvell L I, Lealantong A, et al. Ignition risks of biomass dust on hot surfaces[J]. Energy & Fuels, 2016, 30(6): 4398-4404.  
 [10] Martinka J, Rantuch P, Balog K. Assessment of the impact of spruce wood particle size and water content on the ignition temperature of dust clouds[J]. Cellulose Chemistry & Technology, 2015, 49(5-6): 549-558.  
 [11] 裴凤娟, 胡双启, 叶亚明. 堆积状态下木粉最低着火温度的实验研究 [J]. 科学技术与工程, 2017, 17(9): 317-320.  
 [12] 张静, 周捍东. 毛竹粉尘云最小着火温度的研究[J]. 木材加工机械, 2018, 29(5): 14-18.  
 [13] 郭露, 王耀, 温作浩, 等. 纤维板砂光粉尘的燃爆特性[J]. 中国粉体技术, 2017, 23(6): 40-46.  
 [14] GB/T 16429-1996, 粉尘云最低着火温度测定方法[S].  
 [15] GB/T 16430-1996, 粉尘层最低着火温度测定方法[S].

(责任编辑 向琴)