

# 智能制造中产品定制化生产关键技术研究

李慧明

(山东劳动职业技术学院, 山东 济南 250300)

**摘要** 随着消费者个性化需求日益增长, 产品定制化生产模式已成为智能制造领域研究的热点。本研究分析了产品定制化生产的产品数字化、人体数据化、生产信息化及管理网络化等关键技术, 探讨了大规模个性化定制在服装行业的应用实践。研究表明, 定制化生产系统通过整合数字化设计与智能测量与自动排产与网络化管理, 显著提高了生产效率及产品质量。同时, 基于“以客户为中心, 客户参与设计, 整体效能优化与以创新为导向”的原则构建智能制造平台, 为定制化生产提供了技术支撑与实施路径。

**关键词** 智能制造; 产品定制化; 数字化技术; 信息化管理; 网络化平台

中图分类号: F768

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.011.003

## 0 引言

产品定制化生产是适应消费升级及个性化需求的重要制造模式, 其核心在于在保证生产效率的同时满足客户差异化需求。传统的大批量标准化生产难以满足个性化需求, 而单件定制则面临效率低与成本高的问题。随着德国“工业 4.0”及中国“智能制造 2025”战略的推进, 信息技术与制造技术深度融合, 为实现大规模个性化定制创造了条件。智能制造环境下的产品定制化生产, 利用数字化与自动化与信息化及网络化技术, 打通从客户需求到产品交付的全流程, 实现个性化产品的规模化生产, 这对传统制造模式提出了变革要求, 也为制造业转型升级提供了新途径。

## 1 工程概况

某服饰公司厂区占地 10 亩, 拥有 500 余名员工, 主要生产西服。为适应市场个性化需求趋势, 该公司实施了“新定制”模式, 构建了以客户个性化需求数据为核心驱动的智能制造系统。该系统架构采用分层设计, 包括客户交互层与设计定制层与生产执行层及管理决策层, 各层间通过标准化接口实现无缝连接, 形成数据驱动的一体化系统。企业以此为基础, 打造了完整的定制化生产技术框架, 支撑从客户选款到成衣交付的全流程<sup>[1]</sup>。系统实施遵循“数据驱动与模块化构建与渐进式优化”原则, 分为规划设计与系统构建与试运行优化及全面推广四个阶段, 建立了“个性化配置—专业化评估—智能化制造—全程化监控”的业务流程, 实现了个性化产品的规模化生产, 为服装行业智能制造转型提供了实践范例。

## 2 智能制造中产品定制化生产关键技术应用

### 2.1 产品数字化技术

产品数字化技术通过参数化设计及三维可视化实现服装结构特征的数字表达与快速配置。该技术构建了西装领型与驳头与口袋等结构元素的参数化模型库, 将设计元素以公式形式存储于数据库, 支持客户通过界面进行个性化选择与组合。系统采用基于物理的材质渲染算法, 结合客户体型数据生成三维虚拟模型, 提供 360° 可视化预览, 直观展示定制效果。产品特征数字化可通过参数化曲线方程表示:

$$C(t) = \sum_{i=0}^n P_i B_i(t), t \in [0, 1] \quad (1)$$

其中,  $P_i$  为控制点坐标;  $B_i(t)$  为基函数, 用于表达西装领型与袖口等曲线特征。产品数字化系统还集成了设计协同平台, 设计师可对客户选择进行专业评估并提供优化建议, 系统自动记录修改历史并同步更新三维模型(见图 1)。在协同设计过程中, 系统支持多人同时在线协作, 设计师可实时查看客户的选择偏好, 并根据专业经验给出个性化建议。通过深度学习算法, 系统能够基于历史订单数据, 智能推荐适合客户风格的设计方案, 大大提升了设计效率。此外, 系统还整合了面料物理属性数据库, 通过计算机仿真技术模拟面料的悬垂性与透光性等特征, 帮助客户直观了解成衣效果。这种数字化设计方法转变了传统的“一对一咨询”模式, 将设计师经验与客户需求融为一体, 在提高设计效率的同时保证了产品的专业性与美观性。数字化技术的应用不仅优化了设计流程, 也为后续的智能制造提供了标准化的数据支持, 实现了设计与生产的无缝对接。

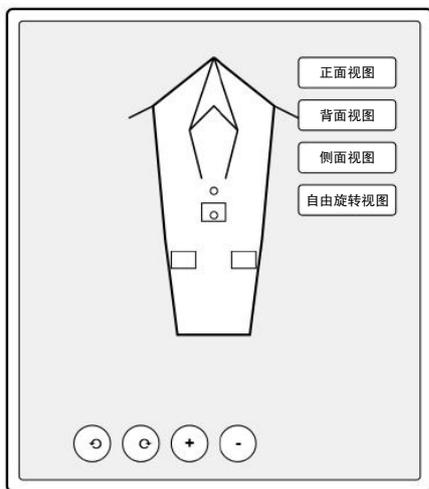


图1 产品数字化三维可视化效果

## 2.2 人体数据化技术

人体数据化技术运用先进的计算机视觉与深度学习算法,成功实现了从二维照片到三维人体数据的精确转换。该技术突破传统人工测量的局限,通过IME人体数据处理软件构建了一套完整的智能测量体系。在实际应用中,客户只需按照系统指引上传正面与侧面及背面三张标准姿态照片,系统便能自动识别及定位人体关键特征点,精确计算出包括胸围与腰围与肩宽在内的30余项关键尺寸数据。人体尺寸的计算过程采用了创新的多层感知算法,其数学模型表达为:

$$D=f(W \cdot F+b) \quad (2)$$

其中, $D$ 为输出尺寸值; $F$ 为提取的图像特征向量; $W$ 及 $b$ 分别为权重矩阵及偏置项。系统在实际测量过程中采用多模型融合策略,将深度学习算法与传统计算机视觉技术相结合,通过形态学特征分析及统计学建模进行数据校正与优化。这种融合策略极大地提升了测量精度,使得系统测量误差控制在 $\pm 1$ 厘米范围内,完全满足服装定制的精度要求。系统创新性地构建了参数化人体模型,采用层次化骨架结构来精确表达人体形态特征。这种结构能够准确捕捉人体各部位的几何关系及运动特征,为后续的服装设计提供可靠的数据基础。系统还开发了智能建模引擎,能够基于骨架结构快速生成真实的三维人体模型,用于服装效果模拟及展示<sup>[2]</sup>。对于再次购买的客户,系统会分析身体周期变化,给出基于客户最新体型的尺寸推荐,实现了测量数据的动态更新。这种非接触式的智能测量方法显著提高了数据采集效率,消除了传统量体过程中的人为误差。

## 2.3 生产信息化技术

生产信息化技术以制造执行系统(MES)为核心,

实现了从订单数据到生产指令的智能转换与执行。系统根据客户订单数据自动生成工艺路线卡及操作指导书,为每件产品分配唯一电子标识,实现全生命周期追踪<sup>[3]</sup>。在服装定制生产中,每个工位配备专用终端,工人通过读取产品电子标签获取个性化工艺参数,系统实时监控生产进度与质量状态。智能排产模块采用多目标优化算法,生产计划优化目标函数可表示为:

$$\min Z = \alpha_1 \sum_{i=1}^n T_i + \alpha_2 \sum_{j=1}^m (1-U_j) + \alpha_3 \sum_{k=1}^p C_k \quad (3)$$

其中, $T_i$ 表示订单完成时间; $U_j$ 表示设备利用率; $C_k$ 表示生产成本; $\alpha_1$ 与 $\alpha_2$ 与 $\alpha_3$ 为权重系数。通过动态调整权重系数,系统能够根据订单紧急程度与产能负荷及成本控制要求灵活优化排产方案。MES系统集成的数据分析功能持续监测生产过程关键指标,对异常状态实时预警并智能推荐处理方案。系统还集成了CAM智能裁剪与单款同步分拣生产等功能,实现了流水线上不同规格产品的混线生产。这种高度信息化的生产管理模式,打破了传统批量生产的固定模式,实现了个性化与规模化的有机结合。

## 2.4 管理网络化技术

管理网络化技术通过集成产品生命周期管理(PLM)与企业资源规划(ERP)系统,打通了从设计到销售的信息链路。系统采用服务导向架构(SOA),构建统一的数据模型及标准化接口,实现异构系统间的信息无缝流转<sup>[4]</sup>。在系统架构中,PLM负责管理产品配置信息及版本变更,而ERP则专注于订单处理与物料管理及财务信息处理,两个系统之间通过高性能中间件实现数据的实时同步传输。系统整合度的评估采用了科学的量化方法,其数学模型表达为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} \cdot c_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij}} \quad (4)$$

其中, $I$ 表示系统整合度; $c_{ij}$ 表示系统 $i$ 与系统 $j$ 间的连接强度; $w_{ij}$ 表示连接重要性权重。通过这一评估体系,企业能够及时发现及优化系统集成过程中的薄弱环节。在供应链管理层面,系统创新性地建立了基于云计算技术的协同平台。该平台不仅提供实时的库存查询功能,还集成了先进的需求预测算法及智能协同排程系统,显著提升了供应链各环节对市场变化的响应速度。特别值得一提的是,系统构建了全面的生命周期数据仓库,实现了设计与生产与销售及客户反馈等全流程数据的有效整合。通过深度数据挖掘及分析,系统能够准确识别影响产品质量及客户满意度的关键因素,为企业持续改进提供了数据支撑<sup>[5]</sup>。这

种网络化管理模式消除了传统企业中的信息孤岛，提高了组织协同效率与市场响应速度。

### 3 智能制造中产品定制化生产关键技术应用效果评估分析

#### 3.1 产品数字化与人体数据化技术效果

产品数字化技术通过参数化设计及三维可视化提升了服装定制效率。参数化模型库将西装结构特征数字化，设计周期从 7 天缩减至 1.5 天，方案数量增加 300%。三维可视化技术使客户满意度评分从 7.2 分提高至 9.1 分，退货率下降 62%。如表 1 所示，数字化技术在各环节均表现出明显优势。人体数据化技术实现了精确三维数据转换。深度学习算法识别人体特征点，测量精度达到 ±1 厘米，相较人工测量提高 68%。系统自动提取 30 余项人体尺寸数据，测量时间从 45 分钟缩短至 5 分钟，为后续生产环节奠定了数据基础。

表 1 产品数字化与传统定制模式效率对比

生产环节	传统定制模式	数字化定制模式	提升率
客户需求采集	35 分钟	12 分钟	65.7%
设计方案生成	4.5 小时	0.8 小时	82.2%
客户确认周期	72 小时	3.5 小时	95.1%
样式修改次数	2.8 次	0.9 次	67.9%
图纸生成时间	8.5 小时	0.2 小时	97.6%

#### 3.2 生产信息化技术效果

生产信息化技术以 MES 系统为核心，实现了订单数据到生产指令的智能转换<sup>[6]</sup>。系统自动生成工艺路线卡，处理时间从 4 小时减少至 15 分钟。电子标识技术实现全流程追踪，异常处理时间减少 85%。如表 2 所示，信息化生产模式显著提升了产能及品质指标。智能排产模块采用多目标优化算法，计划执行准确率提高至 93.8%。CAM 智能裁剪与单款同步分拣技术支持混线生产，单日处理订单类型从 3 种增至 18 种，产能提升 225%，材料利用率提高 14.6%，打破了传统批量生产的局限性。

#### 3.3 管理网络化技术效果

管理网络化技术通过集成产品生命周期管理 (PLM) 与企业资源规划 (ERP) 系统，构建了从设计到销售的完整信息链路。服务导向架构 (SOA) 与标准化接口实现了异构系统间数据的无缝流转，将部门间信息共享时间从 36 小时缩减至实时响应，协同决策效率提升 87%。基于云计算的供应链协同平台优化了需求预测与

库存管理，使物料准备周期从 7 天降至 2.5 天，缺货率下降 82%。全生命周期数据仓库整合设计与生产与销售与客户反馈数据，通过数据挖掘技术识别影响产品质量的关键因素，产品开发周期缩短 58%，市场适应性提高 62%。该网络化技术有效消除了企业信息孤岛，建立了数据驱动的持续改进机制。

表 2 生产信息化在提升产能及品质方面的效果

评估指标	传统生产模式	信息化生产模式	变化幅度
日均产能 (件/天)	62	278	+348.4%
一次合格率	86.3%	97.9%	+11.6%
平均生产周期	8.5 天	2.3 天	-72.9%
单件能耗 (kWh)	3.8	2.2	-42.1%
工时利用率	65.2%	89.7%	+24.5%

### 4 结束语

智能制造环境下的产品定制化生产通过产品数字化、人体数据化、生产信息化及管理网络化四大关键技术的融合应用，成功实现了个性化需求与规模化生产的有机结合。数字化技术重构了传统设计流程，信息化系统提升了生产效率与柔性，网络化平台加强了组织协同与市场响应能力。这种“以客户为中心与技术为支撑”的定制化生产模式，不仅满足了消费者日益增长的个性化需求，也为制造业转型升级提供了实践路径，代表了智能制造的发展方向及趋势。

### 参考文献:

- [1] 王佩蓓. 智能制造中的产品质量追溯系统设计[J]. 集成电路应用, 2025, 42(01): 210-211.
- [2] 赵晓丽. 智能制造在工业设计中的应用与发展趋势[J]. 南方农机, 2024, 55(S1): 92-95.
- [3] 徐梦宇, 易树平, 易茜, 等. 智能制造下价值驱动的复杂产品协同质量管控机制研究[J]. 工业工程与管理, 2025, 30(01): 149-159.
- [4] 周经, 刘祥瑞, 王旭, 等. 智能制造与企业出口产品加成率: 迈向出口高质量发展之路[J]. 世界经济研究, 2024(10): 63-77, 136.
- [5] 刘永. 机电产品设计与制造的智能化发展研究[J]. 现代制造技术与装备, 2024(S1): 110-112.
- [6] 熊俊. 机械设计制造及其自动化技术在智能制造领域的应用研究[J]. 玩具世界, 2024(03): 71-73.