

基于公理化设计的服装大规模定制柔性制造系统研究

周纯浩¹, 周扬², 钱存华³

(1.江苏赛西科技发展有限公司,江苏苏州215000;

2.中国电子技术标准化研究院华东分院,江苏苏州215000;

3.南京工业大学经济与管理学院,江苏南京211816)

摘要:基于公理化设计的方法,对服装大规模定制制造系统进行功能设计,提出服装柔性制造系统的设计步骤和框架,构建服装大规模定制柔性制造系统。得出服装柔性制造的功能结构和系统结构,为服装大规模定制的具体实践提供方法和路线。

关键词:服装大规模定制;柔性制造;公理化设计;模块化;标准化

中图分类号:F 768.3;TS 941

文献标志码:A

文章编号:1673-0356(2023)11-0022-04

大规模定制是一种新兴的制造模式,不仅有效平衡了消费者的个性化需求与企业批量化生产之间的矛盾,也将消费者价值融入到产品的设计过程中,目前已普遍在家具、汽车、电子产品等行业得到应用。我国是服装生产制造大国,随着经济发展和居民消费需求升级,服装行业逐步转向品牌化、小批量、多品类和快时尚发展模式,对产品更新换代速度、产品质量、交货期等都提出了更高要求,大规模定制成为服装制造企业转型升级的重要路径之一^[1]。

目前国内外对服装大规模定制尚未形成系统性研究成果。Liang Y等^[2]通过分析消费者的服装大规模定制体验,结果显示消费者对服装大规模定制已有了较高的认可度,且通过网络沟通服务渠道实施效果更好;吴迪冲等^[3]对服装大规模定制结构体系提出构想,为服装大规模定制概念的发展和推广起到促进作用;金鹏等^[4]系统分析了当下我国服装行业大规模定制发展现状,指出数据采集、供应链协调、订单整合与生产等问题是服装大规模定制进一步发展的主要障碍,可以通过建设数字化、智能化制造系统等方法解决;Zhe L等^[5]通过分析国内外企业服装大规模定制运营方式,提出了基于智能制造云平台的大规模定制服装架构解决方案,为服装大规模定制实践应用提供了方法指导。陈思戢等^[6]系统总结了大规模定制模式下的产品质量控制方法;陈莎等^[7]对服装大规模定制中的排

程问题进行了专项研究,为大规模定制在服装行业落地应用的一些环节提供了方法支撑。

综上,现有研究虽然提供了服装大规模定制的理论基础和结构框架,但是服装企业在实施大规模定制时仍然缺少具体可操作方法、明确的执行步骤等,迫切需要可行的服装大规模定制系统设计方法、系统结构,支撑企业开展服装大规模定制工作。

应用公理化设计的方法,对服装大规模定制制造系统进行功能设计,提出服装柔性制造系统的设计步骤和框架,从而构建服装大规模定制柔性制造系统(FMS),一方面丰富了服装大规模定制的理论研究,另一方面为服装大规模定制的具体实践提供了方法和路线。

1 公理化设计方法

公理化设计由 Suh N P 于 1990 年正式提出,现已广泛应用于制造系统设计、产品设计、软件设计等方面^[8-11]。公理化设计主要包含 4 个概念:域、“Z”型映射、层次结构、设计公理。

域是指在不同类型设计活动之间划出界线。共有 4 个域:用户域、功能域、物理域、过程域(图 1)。在 2 个相邻的域中,左边的域是目标,右边的域是实现目标的过程方法。

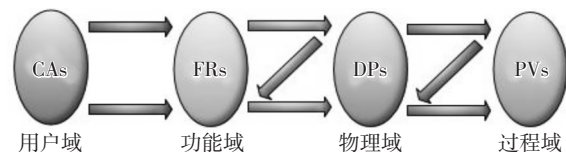


图 1 公理化设计的域的分类与联系

收稿日期:2023-09-06

基金项目:江苏省工业互联网评定标准化项目(JITC-1900AX2038/04)

第一作者:周纯浩(1990—),男,工程师,硕士,主要研究方向:工业互联网、新一代信息技术,E-mail:zhouch@cesi.cn。

“Z”型映射是指相邻域之间回溯映射的过程。通过“Z”型映射,功能域和物理域、物理域和过程域紧密联系在一起,从而形成一个有机整体,有利于设计人员分析整个设计过程,提高设计效率,保证设计合理性。

层次结构是指公理化设计中每个域内自上而下的结构。设计人员通过不断迭代分解FRs、DPs和PVs,最终形成了每个域内的层次结构关系,通过分析层次结构,可以检验判断公理化设计的完整性。

设计公理是指用来指导设计过程和判断设计合理性的标准。公理化设计有独立性公理和信息公理2个基本设计公理,其中独立性公理是指各功能需求FRs的设计之间相互独立;信息公理是指以最少信息量实现设计目标,即实现功能需求目标FRs所需信息量最少的设计是最优设计方案。

2 设计过程

2.1 第一级分解

新时代背景下,消费者对服装形、色、质等方面有着个性化需求,这就要求企业实行服装大规模定制。而实现服装大规模定制的设计过程主要包含:产品设计与工艺标准化、生产过程模块化、信息管控动态集成化。由此,结合公理化设计的方法,确定最高层次的设计目标:FR₀=服装大规模定制柔性制造;DP₀=构建服装大规模定制柔性制造系统。由此FR₀可以分解为:

FR₁=产品设计与工艺标准化;

FR₂=生产过程模块化;

FR₃=信息管控动态集成化。

为了实现如上功能目标,应采取的物理域策略为:

DP₁=制定标准化的产品设计和工艺流程;

DP₂=实施模块化制造模式;

DP₃=运用信息技术统筹信息管理。

其中,FR₁可由DP₁独立实现,FR₂则需要DP₁、DP₂共同来实现,FR₃与DP₁、DP₂、DP₃之间存在紧密联系。该设计属于准耦合设计,设计矩阵为三角矩阵,其设计方程为:

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix}$$

2.2 第二级分解

(1)FR₁可以分解为:

FR₁₁=服装设计标准化;

FR₁₂=服装裁剪、缝纫等工艺标准化。

应采取的物理域策略为:

DP₁₁=制定标准或兼容的设计规则;

DP₁₂=制定标准的技术、工艺规范。

其设计方程为:

$$\begin{bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \end{bmatrix}$$

(2)FR₂可以分解为:

FR₂₁=服装部件管控模型化、数字化;

FR₂₂=集成产品以产品族的理念进行管控;

FR₂₃=服装生产工艺的统一与分化。

应采取的物理域策略为:

DP₂₁=应用成组技术,构建服装部件模块库;

DP₂₂=应用产品族设计技术,构建集成产品数据库;

DP₂₃=应用生产过程重组技术,构建工艺信息库。

其设计方程为:

$$\begin{bmatrix} FR_{21} \\ FR_{22} \\ FR_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_{21} \\ DP_{22} \\ DP_{23} \end{bmatrix}$$

(3)FR₃可以分解为:

FR₃₁=消费者需求信息动态收集;

FR₃₂=制造信息收集、处理与反馈;

FR₃₃=消费者需求信息与制造信息动态集成。

应采取的物理域策略为:

DP₃₁=应用虚拟现实技术、人体测量技术、互联网技术实时收集用户需求;

DP₃₂=应用车间可视化技术管控制造状况;

DP₃₃=应用FMS信息集成与共享技术统筹生产和需求。

其设计方程为:

$$\begin{bmatrix} FR_{31} \\ FR_{32} \\ FR_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_{31} \\ DP_{32} \\ DP_{33} \end{bmatrix}$$

2.3 第三级分解

(1)FR₁₂可分解为:

FR₁₂₁=服装工艺术语、工艺符号标准化;

FR₁₂₂=服装工艺流程标准化;

FR₁₂₃=服装制造精度、余量等工艺要素标准化;

FR₁₂₄=缝纫、熨烫、包装机台等工艺设备标准化。

应采取的物理域策略为:

- DP₁₂₁ = 采用通用的标准的工艺术语和符号;
- DP₁₂₂ = 制定通用的服装生产工艺和实施规则;
- DP₁₂₃ = 制定统一的精度、余量等工艺要素标准;
- DR₁₂₄ = 采用通用的工艺设备和设备参数。

其设计方程为:

$$\begin{bmatrix} FR_{121} \\ FR_{122} \\ FR_{123} \\ FR_{124} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_{121} \\ DP_{122} \\ DP_{123} \\ DP_{124} \end{bmatrix}$$

(2)FR₂₃可分解为:

- FR₂₃₁ = 服装生产工艺的分类;
- FR₂₃₂ = 不同类型服装所需工艺的分类。

应采取的物理域策略为:

- DP₂₃₁ = 根据工艺特性、工艺参数,应用成组技术对服装工艺进行分组归类;
- DP₂₃₂ = 根据具体类型服装加工需求,建立工艺需求要素模板。

其设计方程为:

$$\begin{bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \end{bmatrix}$$

(3)FR₃₃可分解为:

- FR₃₃₁ = 消费者需求信息与制造信息的对接;
- FR₃₃₂ = 消费者需求信息与制造信息的现场发布;
- FR₃₃₃ = 基于消费者需求信息的制造状态监控。

应采取的物理域策略为:

- DP₃₃₁ = 应用MES、ERP等柔性制造系统软件统筹需求与制造信息;
- DP₃₃₂ = 应用看板管理、LED屏实时发布制造系统信息;
- DP₃₃₃ = 应用可视化技术,实时监控需求和生产状态;

其设计方程为:

$$\begin{bmatrix} FR_{331} \\ FR_{332} \\ FR_{333} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_{331} \\ DP_{332} \\ DP_{333} \end{bmatrix}$$

在以上公理化设计的应用中,设计矩阵均是对角矩阵或三角矩阵,属于非耦合设计或准耦合设计,符合独立性公理,因此如上设计均属于合理设计。

综上,依据公理化设计中功能域的迭代分解,可以得到服装大规模定制柔性制造的功能结构表(表1)。表1反映了实现服装大规模定制所需功能的层次结构,对服装大规模定制的理论研究形成了补充。

表1 服装大规模定制柔性制造功能结构表

第一级分解	第二级分解	第三级分解
FR ₁ = 产品设计与工艺标准化	FR ₁₁ = 服装设计标准化 FR ₁₂ = 服装裁剪、缝纫等工艺标准化	FR ₁₂₁ = 服装艺术术语、工艺符号标准化 FR ₁₂₂ = 服装工艺流程标准化 FR ₁₂₃ = 服装制造精度、余量等工艺要素标准化 FR ₁₂₄ = 缝纫、熨烫、包装机等工艺设备标准化
FR ₂ = 生产过程模块化	FR ₂₁ = 服装部件管控模型化、数字化 FR ₂₂ = 集成产品以产品族的理念进行管控 FR ₂₃ = 服装生产工艺的统一与分化	FR ₂₃₁ = 服装生产工序的分类 FR ₂₃₂ = 不同类型服装所需工艺的分类
FR ₃ = 信息管控动态集成化	FR ₃₁ = 消费者需求信息动态收集 FR ₃₂ = 制造信息收集、处理与反馈 FR ₃₃ = 消费者需求信息与制造信息动态集成	FR ₃₃₁ = 消费者需求信息与制造信息的对接 FR ₃₃₂ = 消费者需求信息与制造信息的现场发布 FR ₃₃₃ = 基于消费者需求信息的制造状态监控

另一方面,依据公理化设计中,为实现功能目标而设计出来的物理域的技术方法,可以得到服装大规模定制柔性制造系统结构图(图2),图2反映了构建服装大规模定制柔性制造系统所需技术和方法的层次结构,为企业实现服装大规模定制提供了具体方法和执行路线,是服装大规模定制具体实践的理论依据。

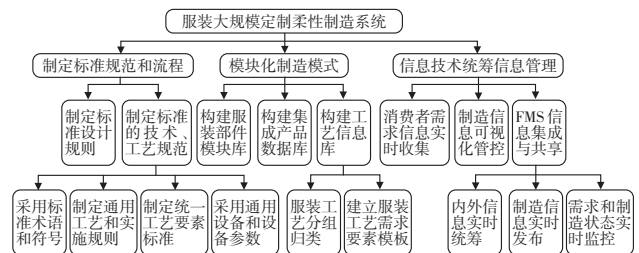


图2 服装大规模定制柔性制造系统结构图

3 结束语

基于公理化设计的方法,对服装大规模定制制造系统进行功能设计,得到了服装大规模定制柔性制造功能结构和柔性制造系统结构,对服装大规模定制的理论研究形成了补充,为服装大规模定制的具体实践提供了方法和路线,同时也为服装制造业的升级转型提供了思路。

服装大规模定制目前的理论研究仍相对薄弱,具体实践也相对较少。一方面是因为服装大规模定制是一种新兴的生产制造模式,尚未得到普及;另一方面是因为目前国内的服装制造企业仍以OEM生产形式为主,缺乏设计过程和与终端消费者的沟通。因此,服装大规模定制的理论在具体实践值得进一步研究。研究运用的公理化设计和柔性理念属于理想的设计方法和制造理念,是否有更好的功能设计、系统设计也有待进一步探讨。

参考文献:

- [1] 马思文. 我国服装规模定制发展现状[J]. 中国市场, 2018(31):64-65.
- [2] LIANG Y, LIU C. Comparison of consumers' acceptance of online apparel mass customization across web and mobile channels[J]. Journal of Global Fashion Marketing, 2019,10(3): 228-245.
- [3] 吴迪冲,顾新建. 服装大规模定制及其结构体系研究[J]. 纺织学报,2004(5):139-141,153.
- [4] 金鹏,沈雷,薛哲彬,等. 我国服装行业大规模定制的发展现状与策略分析[J]. 上海纺织科技,2020,48(6):1-4.
- [5] ZHE L,TAO D,HUAN T. Research on garment mass customization architecture for intelligent manufacturing cloud[J]. E3S Web of Conferences,2020,179:2125.
- [6] 陈思戢,龚俊,张月义. 面向大规模定制的质量控制方法研究综述[J]. 现代制造工程,2022(10):140-147,118.
- [7] 陈莎,修毅,张海波. 服装大规模定制生产企业订单排程优化研究[J]. 北京服装学院学报(自然科学版),2022,42(1):65-73.
- [8] 刘鑫,李公法,向峰,等. 基于公理设计的人机协作数字孪生建模技术[J/OL]. 计算机集成制造系统. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.TP.20230601.0940.004.html>.
- [9] 宝斯琴塔娜,齐二石. 基于独立公理的离散制造系统精益设计公理化映射研究[J]. 管理现代化,2016,36(5):117-121.
- [10] 祝海珍,袁艳,雷永军. 面向管道机器人的模块划分方法研究[J]. 机床与液压,2022,50(21):33-38.
- [11] 王体春,陈炳发,卜良峰. 基于公理化设计的产品方案设计可拓配置模型[J]. 中国机械工程,2012,23(19):2269-2275.

Research on Flexible Manufacturing System for Garment Mass Customization Based on Axiomatic Design

ZHOU Chunhao¹, ZHOU Yang², QIAN Cunhua³

(1.Jiangsu CESI Technology Development Co., Ltd., Suzhou 215000, China;

2.China Electronics Standardization Institute East China Branch, Suzhou 215000, China;

3.College of Economics & Management, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China)

Abstract:Based on the method of axiomatic design, the functional design of garment mass customization manufacturing system was carried out, the design steps and framework of the garment flexible manufacturing system were proposed, while the garment mass customization flexible manufacturing system was constructed. The functional structure and system structure of the garment flexible manufacturing was derived, so as to provide methods and routes for the specific practice of garment mass customization.

Key words:garment mass customization; flexible manufacturing; axiomatic design; modularization; standardization

节能减排,大有可为,功在当代,利在千秋