

# 基于参数化的个性3D打印产品设计研究

刘俊哲, 高洋

(南京林业大学, 南京 210037)

**摘要:** **目的** 基于用户调研, 研究参数化设计结合3D打印技术在个性化智能手环表带定制设计的可行性。**方法** 首先阐释了国内外参数化设计研究的现状, 通过解析参数化风格和相关产品案例明晰了参数化与产品设计的关系, 进而总结了参数化个性定制的内涵; 通过用户调研提出了参数化设计中参数的获取及参数逻辑关系建立的设计流程和设计任务; 通过Rhino软件中Grasshopper的参数建模功能, 从用户需求着手完成了设计实践, 最终打印了3D实物模型, 完成了对设计方案的评价。**结果** 基于用户参与情境下的参数化设计, 在产品开发流程及方案呈现中能较好地体现个性化的用户需求。**结论** 参数化设计体现了个性化产品的设计思想, 借助3D打印等增材制造技术, 让这一效果得到了强化。参数化设计中的个性体现取决于数据的获取和数据逻辑关系的构建, 而这可以从用户调研的结论中进行总结和提取。参数化设计、3D打印技术与个性化需求三者缺一不可, 既互为驱动又相互制约。

**关键词:** 参数化设计; 3D打印; 个性化; 数据; 逻辑关系; 表带

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)16-0022-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.16.004

## Parametric Design of Personalized 3D Printed Products

LIU Jun-zhe, GAO Yang

(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**ABSTRACT:** Through user surveys, this paper aims to study the feasibility of applying 3D printing and parametric design in designing personalized smart bracelet straps. Firstly, this paper explains the current research status of parametric design at home and abroad and clarifies the interactive relationship between parameterization and product design by analyzing parameterized styles and related product cases, and then summarizes the conception of parameterized personalized customization. Secondly, by user research, the design process and design tasks of parameter acquisition and parameter logical relationship establishment in parametric design are proposed. Thirdly, through the parameter modeling function of Grasshopper in Rhino software and with a focus on user needs, the design practice was undertaken, a 3D solid model was printed, and the design plan was evaluated. Parametric design in the context of user participation can better reflect individual needs in the product development process and program presentation. 1. Parametric design embodies the design ideas of personalized products. With the help of 3D printing technology, this effect has been strengthened. 2. The expression of personality in parametric design depends on the acquisition of data and the construction of data logical relationships, which can be summarized and extracted from the conclusions of user surveys. 3. Parametric design, 3D printing technology and the need for personalization are indispensable, and they both drive each other and restrict each other.

**KEY WORDS:** parametric design; 3D printing technology; personalized; data; logical relationships; watchband

从建筑到景观, 参数化设计已日趋成熟。参数化设计是通过研究参数获取方式和构建参数关系而形成的具有形态关联的设计方法。形态学认为, 参数化

作为一种新的设计思维和设计风格应该通过某种需求建立起对象和用户之间更深层次的互动<sup>[1]</sup>。另一方面, 随着科技的发展, 3D打印技术正被设计行业广

收稿日期: 2021-05-15

作者简介: 刘俊哲(1981—), 男, 江苏人, 博士, 南京林业大学讲师, 主要研究方向为工业设计、地域文化设计。

泛使用，它突破传统生产材料和成型工艺的束缚，使设计师的想象力和创造力得到了大幅提升。3D 打印技术缩短了产品开发周期，减少了材料的损耗，更重要的是让个性化产品的设计生产成为了可能。

本研究以用户调研为中心通过智能手环表带个性化的设计提案，开展一种通过结合参数化设计和 3D 打印技术的定制化设计实践研究。具体而言，通过研究目前穿戴产品中的参数化风格的现状与趋势，分析参数化设计风格在产品中的应用，通过用户调研和用户参与，展开对智能手环表带个性化定制的设计研究。

## 1 参数化设计的研究现状

尼尔·里奇等人在《数字构造》中指出参数化设计是一种设计手段，这一概念的引入无疑会带来设计思想上的变革，同时也是一种全新的设计风格<sup>[2]</sup>。参数化风格最早在建筑设计中大量出现，这也与计算机技术和建造技术的发展密不可分。例如玛丽莲·梦露大厦、香奈儿流动艺术馆等均为参数化设计建筑。同样参数化设计在产品、服装、首饰等领域的运用变得愈加广泛，在国外非常流行<sup>[3]</sup>。

国内对参数化设计的研究起步较晚，着重在实践中不断完善和丰富相关理论体系的构建。比较有代表性的是在《参数化设计与算法生成》中，徐卫国教授将参数化方法用于建筑方案的生成，并且展开介绍了参数化设计的思想与技法，同时以现实中的案例为参考，揭示了参数化设计的存在依据<sup>[4]</sup>；还有部分学者通过比较国内外已建成的一些建筑案例，整理归纳出了这些案例中成功使用参数化设计方法的经验，总结了参数化设计在实际工程应用中的问题和优缺点等<sup>[5]</sup>。在工业设计领域较为前沿的研究是从仿生学和仿生设计的角度出发，阐述仿生设计中的分类研究及仿生设计中的数理结构关系在产品结构和表现机理中的应用等<sup>[6]</sup>。以上研究分别以建筑和产品为对象，解析了参数化设计方法在不同领域的发展现状。

## 2 参数化与设计

参数化设计的产品往往具有独特的结构和形态

美，尽管计算机技术在参数化设计中扮演着重要的角色，然而无论技术多么先进，它仍然是设计思维主导的产物<sup>[7]</sup>。

### 2.1 参数化设计风格

参数化设计是一种新兴的设计工具与手段。参数化设计强大的灵活性进一步带动了产品设计领域的变革与发展。帕特里克·舒马赫在《建筑学的自组织系统》中首次提出了“参数化主义”概念<sup>[8]</sup>。他首先分析了四大时代的风格（文艺复兴、巴洛克、新古典主义和现代主义），并且认为“参数化主义”是继四大时代风格的新风格主义，是属于 21 世纪的时代风格<sup>[9]</sup>。参数化主义不仅是一种充满科技和未来感的风格，更是打破了传统设计理念，将数字进行更深层次的函数逻辑运用的手段。

参数化主义是计算机语言下诞生的具有强烈识别性的新艺术风格，马克·盖奇认为参数化风格是一种具有数字化、柔软、连续的表面风格。然而本研究中的被访者对参数化风格的感受为未来感、科技、流动、顺滑、自由、印象深刻、扭动、有序、复杂等，可见虽然人们对参数化外化的结果具有强烈的感性认知，但是仍能总结其某些规律，这也正符合帕特里克·舒马赫对其“有序的复杂性、无缝的流动性”的概括。参数化设计风格见图 1。

### 2.2 参数的个性化体现

最早参数化设计被广泛应用于建筑领域。在人们早已对现代主义的各种建筑千篇一律的形式感到疲倦时，参数化设计的出现让建筑风格再一次变得更个性化和多元化，计算机技术的蓬勃发展也让很多不可能实现的设计方案成为了可能，为个性化设计打开了新篇章。

参数化设计中，数据的重要性不言而喻。过去受制于技术，传统工业产品往往只能在批量化、标准化的原则下体现产品的艺术性和实用性，很少将数据作为设计的依据。对穿戴类产品来说，由于个体的不同，用户在产品材质、风格、色彩等方面都会追求更高的艺术性和独特性，因此在生活中消费者会更青睐具有个性化、文化特色并满足审美需求的产品，以彰显自己的独特性<sup>[10]</sup>。这些个性需求的差异化在参数化设计



图 1 参数化设计风格

Fig.1 Parametric design style

中则体现为多变的数据和数据结构的逻辑关系。

### 2.3 参数化与 3D 打印技术

一般认为,参数化为 3D 打印技术提供了精确的数字模型,而 3D 打印技术的实现过程则为复杂多变的参数化模型提供了最佳的展示效果<sup>[10]</sup>。两种技术优势互补,在协同发展和不断融合中逐渐发展为了一种较为新颖的设计思维方式。

以传统设计流程中一种具象的产品形态为例,它是基于如用户调研、市场分析、风格参考等抽象活动的结果而逐渐清晰的,而在参数化的设计流程中则可以以标准数字模型为中心,结合 3D 打印技术,利用上述活动的影响因素不断修正产品形态直至较为完善。即调即得的便利性,以及所见即所得的敏捷制造技术串联了产品开发流程的各环节,让整个产品开发成为了有机的整体,效率更高<sup>[11]</sup>。再如,因为传统加工工艺和工业材料无法满足参数化的设计要求,所以早期参数化的设计往往呈现平面化或半平面化的特征(类似于浮雕的效果),这也是参数化最早应用于建筑设计的原因之一。对于工业产品而言,3D 打印技术的出现无疑改善了这一情况,参数化设计不仅能在三维空间尺度中完成华丽转身,还可以通过时间的变化不断变换自身形态,跨界为真正的当代艺术<sup>[12]</sup>。

## 3 用户调研

### 3.1 整体表现

在《参数化个性 3D 打印增材穿戴产品》的用户调研活动中,本研究有效回收了 15~40 岁用户 190 份问卷,其中 15~25 岁 153 人,26~30 岁 29 人,31~35 岁 6 人,35~40 岁 2 人。在选择拥有和经常佩戴的穿戴产品中,以佩戴手表、手环类产品的人数最多,占 56%,其中佩戴智能手环的人群以 21~30 岁居多。整体比较发现,“设计风格”在用户最为看重的因素中排第 3 名,“质量”与“品牌”位列第 1 名和第 2 名,第 4 名为“功能”。可见在智能穿戴产品发展趋于成熟的当下,外观的创新能够更快速地吸引人们的眼光,成为个性化体现的重要因素。

同时作为佐证,通过文献查阅,发现年轻群体(以大学生群体为例)在使用智能手环的影响因素中,除价格因素以外,外观是否符合个人喜好的因素占 32.5%<sup>[13]</sup>。然而通过在几个主流的电商平台搜索到的智能手环的信息来看,最直观的感受是虽然产品多样,但是外观样式千篇一律。这也可能是为了让智能手环的风格时尚百搭,所以多数外观设计仍旧以传统手表造型为基础。

### 3.2 用户特征

#### 3.2.1 人群定位

佩戴智能手环的群体以有一定消费能力的年轻

人为主。年轻人在参数化风格感知上呈好奇的态度,喜欢接受新兴事物,有表达自我的欲望。82.5% 的人表示能够接受参数化风格的个性化定制并愿意在有条件的情况下进行尝试。

#### 3.2.2 用户需求分析

目前市场上的智能穿戴产品外观大多具有相似性,而智能手环的科技感是吸引消费者的原因之一。当下个性化定制受到人们的喜爱,能让用户自己参与到设计过程的模式成为潮流。调研发现 73.4% 的用户乐意体验个性化定制服务。用户希望能够自行选择智能手环的功能、品牌等,也希望能够参与到最直观的外观设计。在与一位佩戴智能手环的用户进行访谈时,被访谈者认为智能手环的外观设计在做到时尚、百搭的同时也应考虑到“性别”特征和个性化功能的实现,例如表带线条的风格样式,以及亲肤性和透气性等。

#### 3.2.3 用户消费行为分析

在参与调研的人群中,针对智能手环购买过除官方搭配以外表带的人占 31.1%,选购原因以“好看”“美观”“透气”等为主。没有购买过其他表带的占 42.3%,主要原因为“没有喜欢的样式”“不知如何更换表带”等。26.6% 的人表达出智能手环表带不能随意拆卸的顾虑等。

### 3.3 设计风格分析

定制化智能手环表带作为体现个人喜好的产品,进行参数化设计时符合用户要求与针对用户偏好设计出他们喜欢的纹样同样重要。在发放的 190 份调查问卷中,年轻人对参数化设计表达出好奇与喜爱,认为充满未来感;少部分人不喜欢参数化风格,认为参数化的事物令人感到冷酷。本次访谈包含 8 种不同类型的纹样,需要答题人根据文字和图片描述,在预设参数化纹样风格中选择最令自己感到舒适的纹样。排在前 3 的纹样风格中,“流动的”最多,占 28.46%;其次是“规则、重复的”,占 17.31%;最后是“几何化、硬朗的”,占 5%。总结发现人们喜欢上述风格的原因是这些纹样具有柔和且流动的“韵律感”,或具有整齐划一的结构强度,能够让人产生透气性的主观感受。预设参数化纹样风格见图 2,参数化纹样用户喜好调研数据(部分)见图 3。

参数化设计作为一种新的设计工具,在独特的风格、设计理念思维与形态上,可以表现出更符合用户感知的形式<sup>[14]</sup>。参数化纹样不同视觉感知模型见图 4,使用了同样的算法逻辑,在改变参数后呈现出了不同的纹理,视觉感知也会有差异。图 4a 由排列密集的纹样构成,与竹编相似,具有紧密、流动之感;而右图由规则重复的纹理构成,具有饱满和起伏感。以上都是参数化风格下带给人的独特视觉感受。

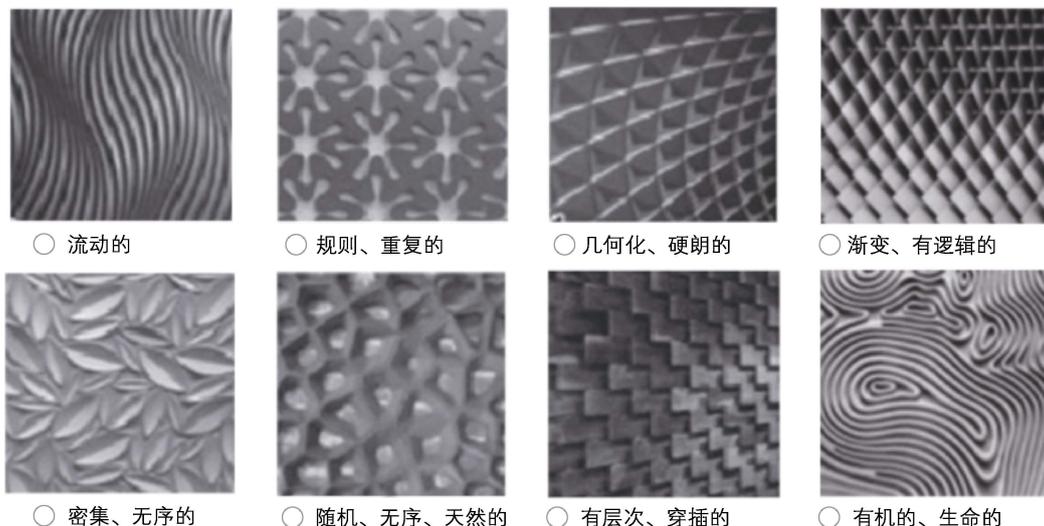


图 2 预设参数化纹样风格  
Fig.2 Parametric pattern

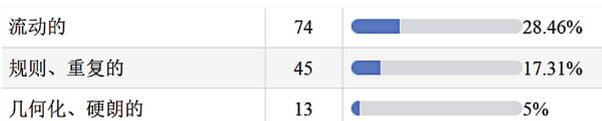


图 3 参数化纹样用户喜好调研数据 (部分)  
Fig.3 Parametric pattern user preference survey data (partial)

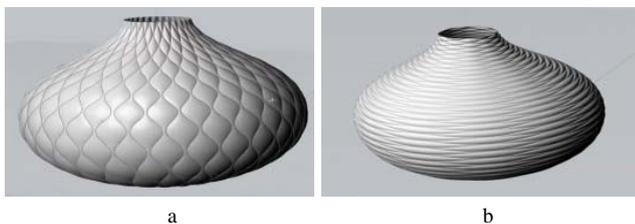


图 4 参数化纹样不同视觉感知模型  
Fig.4 Different visual perception models of parametric patterns

## 4 参数化设计实践

### 4.1 设计构思

基于用户调研进行草图构思, 结合问卷调研, 以用户对参数化风格感知较喜爱的规律、重复的纹样风格进行发散和拓展。由于参数化风格具有多变性, 所以草图阶段的绘制以基础的图形和排列方式为主, 对表带参数化模型进行初步设想。同时考虑在风格和样式方面选择具有明显差异的参数化造型风格。

草图阶段以三角形、六边形、四边形等基础几何图形和流动线条为主, 通过线性排列和面的渐变排列, 借助参数化技术将简单图形通过逻辑运算变为看似复杂的模型, 再由错落重叠的线面构成具有层次感的纹理。通过用户评价, 将具有流动性、秩序及结构稳固的表带形状的设计作为最终方案继续深入。将方形 (以三角形为基础图形、带有多孔的米字造型) 作为最终表带形状。

### 4.2 参数的逻辑关系

主要使用 Rhino 软件的 Grasshopper 平台构建参数的逻辑关系。Grasshopper 是一款交互式可编程参数化可视化软件, 它的数据结构为树形, 能够同时处理多组数据。使用可视化节点的操作方式建立逻辑模型, 多数命令和 Rhino 里的命令相互映射。Grasshopper 也因其可编性、可视性、动态性等特点, 提高了参数化设计的效率。

在 Grasshopper 中进行参数化逻辑建立, 能够快速使模型与其他设计活动产生互动, 使得传统线性设计流程呈现出分布式或并行式的动态特征<sup>[13]</sup>。以三角米字纹样的逻辑建立为例, 将三角形作为基础图形进行排列, 首先设定三角形的尺寸, 再确定符合定制手环的宽度与长度 (考虑到用户不喜欢传统表带过长的问题, 将表带长的一段进行长度缩减)。形态上将每个三角形的边缘线性加粗, 设定参数区间, 使边缘线实现从粗到细或从细到粗的变化过程, 呈现渐变三角形的效果, 提升层次感。搭建的参数化模型, 见图 5。

### 4.3 动态结构分析

参数化模型在树状逻辑确立完毕后, 能够对其中的参数进行调整, 从中选择最满意的方案。这一阶段由用户自行挑选满意的方案。如图 5 中第 4 步为动态分析过程: 编号 1 和编号 2 为三角形排列数量的对比, 宽度过宽或过窄都不能适配原智能手环的表形, 并且能够随时改变三角形边长; 编号 3 和编号 4 是不同方向的线性疏密变化 (自下而上渐变密集与自上而下的渐变密集), 可通过改变区间参数进行调整, 建模时为了方便查看将镂空部分设置成黄色; 编号 5 是整体模型的边框线性变化, 调整参数选择合适的边框粗细, 数值越高, 边缘越粗, 反之亦然; 动态对比中的右侧两张图为调整参数改变模型厚度的示例。由于是

在逻辑内设立的区间改变参数的内线粗细,考虑到表带与表体连接部分经常弯曲,会建议用户以镂空较少的部分为连接处。图5右下方为模型的厚度参数变化调整,用户在这一阶段可根据个人偏好选择模型样式,以及选择是将模型整体作为表带还是只作为一种花纹。参数及个性定制服务能够让用户极大程度地参与到方案制定的全过程,让用户从众多快速生成的方案中选择心仪的方案<sup>[15-16]</sup>。

#### 4.4 优化模型及3D打印

在选择将整体模型作为表带后,把调整好的模型

在Grasshopper中进行烘焙,与用户的智能手环造型进行连接调试,并建立整体效果模型。应用户要求使表带长度短于传统表带,并将中间部分做成渐变镂空增加透气性,再通过有限元分析受力分布,确认方案的可行性。然后完成产品渲染效果,最后运用光固化3D打印技术进行原型打印,材料为具有亲肤性和很高柔韧度的EM光固化弹性材料<sup>[17]</sup>。几种方案的效果见图6,参数化个性表带3D打印模型展示见图7。

#### 4.5 设计实践总结

本研究最终生成的设计方案,并不满足工业化大

图5 用户参与智能手环表带设计实践  
Fig.5 Parametric design of smart bracelet strap with user interaction



图 6 几种方案的效果  
Fig.6 Effects of several plans

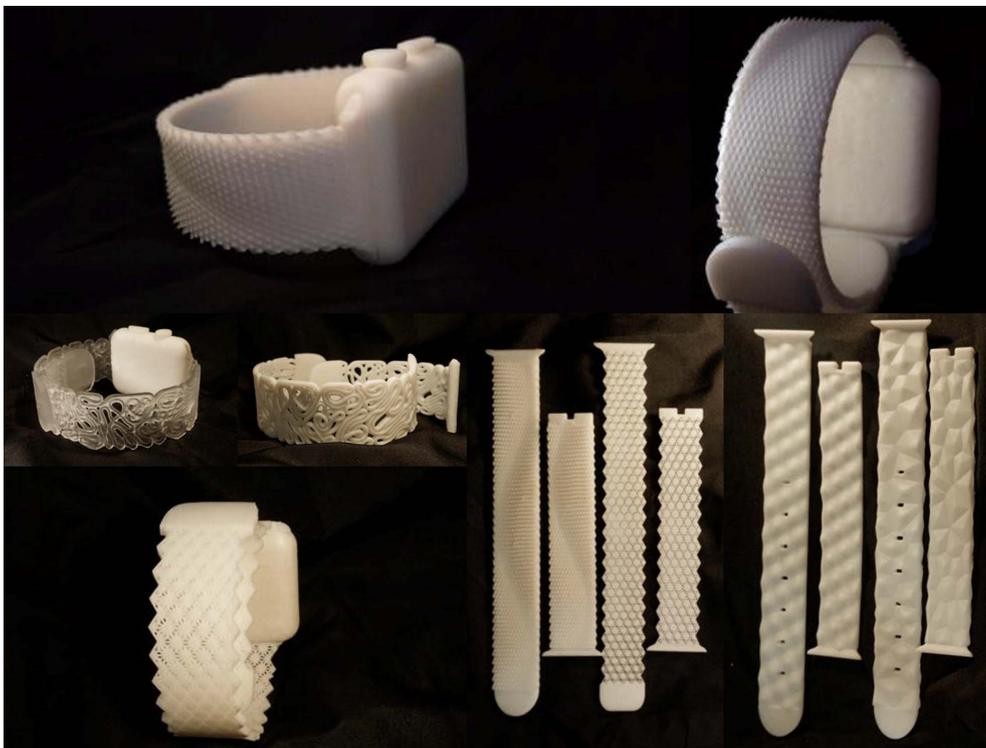


图 7 参数化个性表带 3D 打印模型展示  
Fig.7 Parametric strap 3D printed model display

批量生产范畴下的可批量、标准化的开发理念。其目的是基于参数化设计的特点，从用户个体的需求出发，设计可定制、可小批量生产的产品。在这一过程中逐渐形成了基于用户参与情境下的设计流程，见图 8。可以发现，从设计实践准备（性能参考）开始，直至生成 3D 打印产品的过程中，始终贯穿了用户参与协同设计的理念。特别是通过参与式的参数化设计，用户可以及时对设计结果进行逆向调节，这样整个过程就形成了一个无缝对接的闭环，可以不断持续下去。因此，可以认为整个设计流程得到了个性化的体现。

## 5 结语

本研究首先通过查阅文献，总结了参数化风格在建筑和产品领域应用中的不同，从视觉角度对产品的参数化风格创意感知进行了深入分析。其次，对越来越多的用户选择个性化定制服务的原因进行了分析，明确了个性定制服务的市场需求，并阐述了参数化技术与个性定制服务的相适性。通过发放问卷和访谈的方式决定了以智能穿戴表带为研究对象，分析了目前市面上的类似产品，以用户参与的协同设计方式进行了个性化设计的尝试，最终通过 Rhino 的 Grasshopper

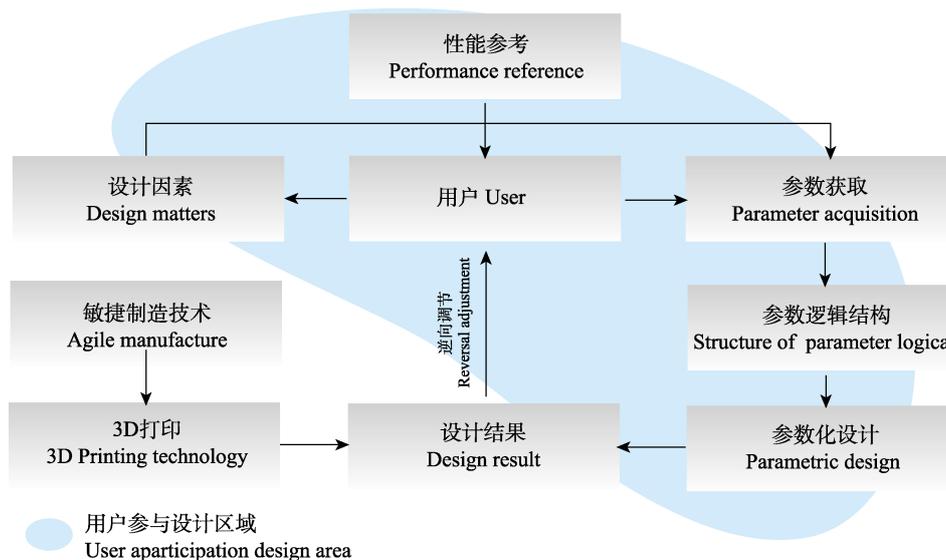


图8 个性化产品参数化设计关系

Fig.8 Relationship of personalized product parametric design

参数化设计平台完成了从数据采集到数据逻辑关系构建的完整流程。其中,通过用户分析构建设计风格、绘制草图、建立逻辑模型、调整参数优化建模、开展有限元分析等对模型进行进一步优化,最终使用3D打印技术完成模型并进行方案展示。由此验证参数化技术应用在个性化定制设计流程的可行性。

#### 参考文献:

- [1] 高岩. 参数化设计——更高效的设计技术和技法[J]. 世界建筑, 2008(5): 28-33.  
GAO Yan. Parametric Design: a More Efficient Design Technology and Technique[J]. World Architecture, 2008(5): 28-33.
- [2] 姚小龙. 参数化设计下建筑形态生成研究[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2017.  
YAO Xiao-long. Building Form Generation under Parametric Design[D]. Wuhan: Wuhan Textile University, 2017.
- [3] 张蓓蓓. 智能首饰的模块化设计研究[J]. 设计, 2021, 34(4): 26-28.  
ZHANG Bei-bei. Modular Design of Intelligent Jewelry [J]. Design, 2021, 34(4): 26-28.
- [4] 王男, 王佩国. 参数化设计在产品造型设计中的应用研究[J]. 设计, 2014(7): 37-38.  
WANG Nan, WANG Pei-guo. Application of Parametric Design in Product Modeling Design[J]. Design, 2014(7): 37-38.
- [5] 黄越. 初探参数化设计在复杂形体建筑工程中的应用[D]. 北京: 清华大学, 2013.  
HUANG Yue. Preliminary Study on the Application of Parametric Design in Complex Shaped Building Engineering[D]. Beijing: Tsinghua University, 2013.
- [6] 傅桂涛. 基于 Grasshopper 的形态仿生在工业设计中的应用研究——以仿生树蛙足垫结构的鞋底表面肌理设计为例[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019.  
FU Gui-tao. Application of Shape Bionics Based on Grasshopper in Industrial Design[D]. Hangzhou: Zhejiang Agriculture and Forestry University, 2019.
- [7] 顾方舟, 赵江洪, 赵丹华. 参数化设计与参数化风格的感知研究[J]. 装饰, 2020(4): 16-20.  
GU Fang-zhou, ZHAO Jiang-hong, ZHAO Dan-hua. Parametric Design and Parametric Style[J]. Zhuangshi, 2020(4): 16-20.
- [8] 朱光良. “参数化主义”与“参数化设计”的辩证性探究[J]. 建筑与文化, 2019(8): 184-185.  
ZHU Guang-liang. Dialectical Exploration of “Parameterism” and “Parametric Design”[J]. Architecture and Culture, 2019(8): 184-185.
- [9] 龚淳. 信息化时代下的数字渗透与建筑参数化设计浅析——对帕特里克·舒马赫“参数化主义”的解读和思考[J]. 建筑与文化, 2018(4): 60-61.  
GONG Chun. Analysis of Digital Infiltration and Architectural Parametric Design in the Information Age[J]. Architecture and Culture, 2018(4): 60-61.
- [10] 宋健. 个性化需求下的产品参数化设计方法理论研究[J]. 家具与室内装饰, 2018(5): 18-19.  
SONG Jian. Theoretical Research on Parametric Design Method of Product under Individualized Requirements [J]. Furniture And Interior Decoration, 2018(5): 18-19.
- [11] 王珂, 刘扬. 参数化设计与3D打印的协同发展研究[J]. 包装工程, 2017, 38(16): 147-151.  
WANG Ke, LIU Yang. Synergistic Development of Parametric Design and 3D Printing[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(16): 147-151.

(下转第71页)