

国家自然科学基金资助项目 (51675464)

# 象元形态设计理论及应用

## 产品个性化形态定制新方法

吴俭涛 孙利 著



燕山大学出版社  
YANSHAN UNIVERSITY PRESS

国家自然科学基金资助项目 (51675464)

# 象元形态设计理论及应用

产品个性化形态定制新方法

吴俭涛 孙 利 著



 燕山大学出版社

2018·秦皇岛

图书在版编目 (CIP) 数据

象元形态设计理论及应用: 产品个性化形态定制新方法 / 吴俭涛, 孙利著. —2 版.

—秦皇岛: 燕山大学出版社, 2018.6

ISBN 978-7-81142-651-9

I. ①象… II. ①吴… ②孙… III. ①产品设计—研究—中国 IV. ①TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 115096 号

象元形态设计理论及应用——产品个性化形态定制新方法

吴俭涛 孙 利 著

---

出版人: 陈 玉

责任编辑: 朱红波

封面设计: 刘维尚

出版发行:  燕山大学出版社  
YANSHAN UNIVERSITY PRESS

地 址: 河北省秦皇岛市河北大街西段 438 号

邮政编码: 066004

电 话: 0335-8387555

印 刷: 河北纪元数字印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

---

开 本: 700mm×1000mm 1/16 印 张: 10.25 字 数: 154 千字

版 次: 2018 年 6 月第 2 版 印 次: 2018 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-81142-651-9

定 价: 32.00 元

---

版权所有 侵权必究

如发生印刷、装订质量问题, 读者可与出版社联系调换

联系电话: 0335-8387718

# 序

古罗马哲学家爱比克泰德说：“人们并不被事物所扰乱，而是被他们对事物的看法所扰乱。”同一事物，由于观察者的立场、角度、层次，或动机、过程、结果、观念、方法、技术、工具、影响等不同，其结论完全不同。

设计的本质是“重组知识结构、产业链，以整合资源，创新产业机制，引导人类社会健康、合理的、可持续生存发展的需求”。

对待“设计”这个新概念，同样也应该如此。不应道听途说、一知半解、人云亦云；也不能以旧有的知识结构来推测；更不应孤立地以字面上的表象、断章取义、硬安一个时尚帽子来解释，这将会使我们步入歧途，给我们的事业带来不必要的损失。尤其在我们学习科学发展观，指导我们在探索全球经济一体化语境下，把改革开放引向新阶段，实现我国从“加工制造型”转变为“设计创新型”“资源节约型”“环境友好型”的可持续发展的和谐社会，对设计这个概念的理解，方法的掌握，战略、政策的制定，机制的调整和实践的指导，都至关重要。

工业设计当今成了产业革命后经济发展的主要方法和武器之一。西方发达国家以此才得以用使发展中国家消费者眼花缭乱的新颖产品、工具、机器迅速占领世界的大市场。在世界各国现代化的进程中，一次又一次地证明了发展工业设计是催化物质文明和精神文明的有效方法和道路。

信息时代、知识经济下的设计将重点探索“物品、过程、服务”中的创新，其研究具有“广泛性”和“纵深性”两个维度上的意义。设计将更多以“整合性”“集成性”的概念加以定义，它们也许会是“信息的结构性”“知

识的重组性”“产业的服务性”“社会的公正性”等等，不再局限于一种特定的形态载体，而更侧重于整体系统运行过程中的结构创新<sup>[2]</sup>；设计不再是“大师”个人天才的纪念碑或被艺术空洞化所炒作，而更侧重于设计的上下游研究和设计过程的方法把握；设计不再仅受制于商业利益，而更侧重于大众的利益和人类生存环境的和谐。为此，设计业态也会在产业结构、社会职能以及相互关系中做出相应调整 and 变化。

伴随着中国工业化的进程，设计的理论、实践、机制和知识也应该作为中国设计发展的见证，更何况任何社会现象的产生、发展都不是孤立的。这个世界是一个整体，一个牵一丝动全局的系统。中国的工业设计发展当然要从不同角度、不同专业入手，而当这些时空（上下、左右、前后）的探索成果融合在一起时，自然会让人类这种不仅有五官、体感，还具有大脑、良知的灵魂觉悟，这个社会发展的动力还带有本质的观念显现。这也可以证明“意识”对“存在”的能动力，时常还是巨大的。所以，设计实践不仅要从某一支流溯源，还要梳理历史长河流经的峡谷、高原、险滩、沼泽、三角洲，乃至大海海床的沉积物和地层剖面……

我们被允许探索，却不应苟同浮躁现实，而应坚持用灵魂深处的责任、热情，以崭新的平台，构筑中国的工业设计观念、理论、机制，建设以“产业创新”的分享型服务生态系统的净化、凝练，升华中国工业设计之路以助力中华民族复兴的梦想。

《象元形态设计理论及应用——产品个性化形态定制新方法》一书即是在探索大数据时代设计创新的新路，而且作者也在探索挖掘中国传统文化的方法，这值得我们给予支持和鼓励！中国传统思想一贯主张整体、综合地对待世界上的一切事物。中国的汉字是世界上唯一自古以来以“象形”又“会意”的方式记录和传达了人在认识客观世界的基础上，把主观的想象和意念也整合到文字中的符号系统。事物的更替与演化，更多的是被“需求”驱动着。需求在先，既是时间的先，也是逻辑的先。需求决定了创造的目的、方向；

而技术决定创新的可能性与成本。需求创新是对生活方式的创造，也是对文化的发展。在市场经济体制的刺激下，新事物不断地被催生，从而激发了“需求”，效率与利益同时也驱使“技术”不断地改头换面，迅速地发展，广泛地被应用于生活和工作的各个角落。

预祝《象元形态设计理论及应用——产品个性化形态定制新方法》一书的出版对我国设计界和产业界的创新思路有所开拓。

柳冠中

2017年10月2日

# 目 录

<b>第 1 章 关于个性化形态定制设计问题</b>	<b>1</b>
1.1 个性化定制服务的兴起	3
1.2 产品形态设计新需求	6
1.3 产品形态定制平台开发	9
<b>第 2 章 象元形态设计理论</b>	<b>13</b>
2.1 象的概念	15
2.2 象元定义与象元类型	20
2.3 象元运算	26
2.4 象元形态设计法	36
2.5 象元形态设计法的意义与作用	38
<b>第 3 章 象元形态设计法运用</b>	<b>39</b>
3.1 象元提取与构成	41
3.2 象元构成	49
3.3 象元运算与运算法则	81
3.4 混合运算	105
<b>第 4 章 轮毂象元形态设计法的实现</b>	<b>111</b>
4.1 GRASSHOPPER 软件工具简介	113
4.2 基于象元替换运算的象元形态设计法实现路径与过程	117

4.3 基于象元合并运算的象元形态设计法实现路径与过程	120
4.4 基于象元插值运算的象元形态设计法实现路径与过程	122
<b>第5章 基于象元的个性化形态定制应用系统开发</b>	<b>125</b>
5.1 个性化形态定制应用系统设计	127
5.2 轮毂个性化形态定制 APP 开发	135
<b>结 语</b>	<b>144</b>
<b>参考文献</b>	<b>146</b>



# 关于个性化形态定制设计问题

工业 4.0、大数据、“互联网+”等变革性的新技术正在进入人们的生活，其发挥的作用也将越来越不可替代<sup>[1]</sup>。绿色、智能、融合、服务、超常将成为未来制造业的发展方向<sup>[2]</sup>。

新的产业革命正向我们走来，而中国作为一个发展中国家，目前仍处于工业化进程的中后期。所以，中国的制造业仍需追求高生产效率、低资源消耗、友善环境和提高生活质量。中国的制造业需要从生产型转向服务型。而服务型制造业要充分结合互联网的泛在性与便捷性，革新业务模式，创造更高效率，整合多种资源，形成制造业新生态和新面貌<sup>[3]</sup>。



## 1.1 个性化定制服务的兴起

伴随制造业能力提升, Internet 技术、电子商务的蓬勃发展, 使得个性化定制服务的可行性越来越强。产品销售模式从以前的大营销开始让位于一对一营销。个性化定制(Personalized Customization)将逐步成为“工业 4.0 时代”主流经营服务模式<sup>[4]</sup>, 面向消费者的个性化定制服务存在的问题和发展状况也开始引发关注。

在谈及或研究制造业发展趋势问题时, 国外许多名人学者都提到“定制化”“个性化”这些词汇。并指出, 这是一个动态发展的概念和服务模式, 将与知识经济和体验经济共生发展与变化。

“定制”, 最早作为一个专业名词出现在英国的萨维尔大街, 是指面向高级顾客提供高端服装私人定制服务。这也是早期的“个性化定制”。由于单件生产成本过高, 早期的个性化定制方式最终让位于大规模生产方式。

当今的个性化定制是大规模定制生产前提下的小量多样化定制, 既满足大批量生产成本要求, 又满足消费者个性化、多样化、小量化甚至单件化的定制要求。所以, 个性化定制不但是一种制造模式, 也是一种营销服务形式。

截至目前, 企业与客户间的个性化定制服务形式主要经历了三个并存的发展阶段: 一是基于网络的个性化订购, 如“淘宝网”; 二是基于定制模块化的产品配置<sup>[5-6]</sup>, 如特定品牌的网上定制订购系统, 即“品牌官网旗舰店”; 三是基于客户需求的设计交互<sup>[7-8]</sup>, 客户对某种产品个性化有一个轮廓性或模糊的要求, 通过可交互的网络个性化产品定制系统参与设计, 并体验和感觉设计后的效果。

目前, 全球已开发的基于网络的个性化产品定制系统及其应用大体可分为三个阶段<sup>[9-10]</sup>:

第一阶段：20世纪90年代初，企业自建网站，以产品广告和企业宣传为主要功能。

第二阶段：20世纪90年代中后期，客户网上订货。Internet与企业内部信息系统连接，具备跟踪发货功能及其他的商务功能。

第三阶段：21世纪初，客户个性化定制。客户可参与产品设计与生产的多个过程，定制满足自己要求的最佳产品。这种个性化定制系统把企业内部与客户、企业与市场密切连接融为一体，实现“量身定做，按需生产”。

在以美国为代表的许多发达国家，企业的产品网络定制系统逐渐开始向第三阶段过渡。如美国“F”牌高端汽车轮毂定制网站，消费者可以在网站上自己设计轮毂色彩、材质及搭配组合，还可以进行材质和尺寸定制。但目前该定制平台还不能提供形态定制服务。

也有一些国际知名公司已开发出相应的个性化定制系统并得到了很好的应用，如2014年日本优衣库品牌其官网店上推出虚拟试衣体验服务。此外，以个性化定制为核心业务的“虚拟企业”形式开始出现，这些“网店”与“网厂”将是未来互联工厂的雏形。

目前支持个性化产品定制主要业务活动和关键技术<sup>[11]</sup>有：网络架构技术、个性化定制技术、产品配置技术等。

我国大多企业的网络定制系统还不能提供全方位的基于网络的个性化定制服务。部分企业可以实行的定制服务基本是以多样化替代单品定制，还不能算作真正的个性化定制<sup>[12]</sup>，主要体现在以下几点：

(1) 现有的个性化服务只起网上商店的作用。客户的个性化需求没有良好的渠道与企业进行及时有效、全方位的沟通和表达。

(2) 用户没有真正参与产品的设计。消费者只能从产品库挑选最贴近自己意愿的产品,并不能直接、全面、深入地参与产品设计与加工过程。

(3) 在确定订单之前,消费者不能先行知道或浏览自己定制的产品。客户除了对产品的功能和形状有一个理性认知外,没法对自己所定制产品的最终形态有直观感性认知,这也对客户下单造成障碍。

(4) 定制过程较为复杂的产品,仍需要借助人工服务。对于复杂产品,在定制过程中,由于消费者和提供商之间难以达成一致描述,需借助其他人服务与交流手段,这也大大降低了定制效率。

在产品个性化定制学术研究领域,国内的哈尔滨理工大学王欢<sup>[13]</sup>、浙江大学魏巍<sup>[14]</sup>、浙江大学程好秋<sup>[15]</sup>和秦笃印<sup>[16]</sup>、广东工业大学陈文超<sup>[17]</sup>、天津大学董小飞<sup>[18]</sup>、浙江大学袁海波<sup>[19]</sup>、东北大学赵凯<sup>[20]</sup>、上海交通大学耿宇男<sup>[21]</sup>和朱轶赟<sup>[22]</sup>等人在这方面展开多维度的研究,并根据现有的基于 Web 的个性化定制系统的研究基础,分别提出了各具特色的定制原型系统,还将其研究成果应用于物料管理系统、空分设备以及采购业务流程等领域。

服装定制、珠宝定制是我国最早介入定制化服务的行业领域,主要面向高消费群体,而面向大众群体的家装产品定制、电子商贸定制和电信产品定制也逐渐兴起。目前我国的个性化定制主要服务范围为服装、珠宝、个人形象设计、工业设计、建筑设计、室内设计等应用艺术领域。

## 1.2 产品形态设计新需求

产品形态设计主要包括形态设计思想、形态设计方法及技术实现三个方面。

在一切形态设计与创新活动中，思想创新是决定性和根本性力量。自工业革命以来，产品形态设计与发展主要受到五类思想的影响：①以艺术为中心的设计思想。②以产品为中心的设计思想。行为主义心理学、泰勒管理理论<sup>[23]</sup>是其思想的典型代表。③“消费主义”的设计思想。以美国“快餐”式消费文化为代表，是消费型社会的一个典型特征<sup>[24]</sup>。④以人为中心的设计思想。强调设计的“可用性”，代表理论有北欧的人本主义思想<sup>[25]</sup>、德国的新功能主义<sup>[26]</sup>等。而由此发展出来的通用设计<sup>[27]</sup>、设计心理学<sup>[28]</sup>、产品语义学<sup>[29]</sup>等应用知识体系，也构成了当前工业设计教育的主导思想。⑤以自然为中心的设计思想。该设计思想为产品设计建立了一套新的评价准则，主要包括：原材料消耗缩减、能源使用缩减、可重复利用结构与部件、过程附带性产出、3R性（可拆卸性、可维修和可回收性），以及多用性和持久性。

产品设计方法是反映设计思维转化过程的方法，目前主要划分为形象思维设计法、逻辑思维设计法、系统设计法和智能设计法四大类：①基于形象思维的设计方法。②基于逻辑思维的设计方法。如SWOT分析法、SPSS分析法、FBS-API法<sup>[30]</sup>、功能逻辑分解方法<sup>[31]</sup>、形态排列组合法等。③系统设计方法。其基本原则是将产品与所处环境作为一个整体来考量，使二者之间在外观形式、功能关系上具有一定的关联性和一致性。④智能设计方法。采用人工智能技术完成设计任务的方法。目前智能设计方法主要包括六种。第一种是基于规则生成与证明的方法<sup>[32]</sup>，第二种是基于实例的方法<sup>[33]</sup>。此两种方法在“设计要求”和“设计解”之间建立映射关系，并建立描述映射关系的

设计实例库。第三种是基于约束满足的方法<sup>[34]</sup>。把各种设计要求和限制条件都转变成对设计变量和设计条件的约束。第四种是基于形状文法的方法<sup>[35]</sup>。设计过程即寻找由文法定义空间（有可能解）与语义空间（满足需求的解）的交集。第五种是基于神经网络的方法。将人工神经网络技术应用于分布式设计知识的表示与推理，具有较好的自学能力<sup>[36]</sup>。第六种是基于进化计算的方法。利用遗传算法，通过编码处理，将设计过程转换成种群进化过程<sup>[37]</sup>。

从产品创新与设计方法创新的发展过程可以发现，设计方法的研究和实践已经从创意思维引导向计算机辅助设计引导转变。如今，几乎全部的设计工作都可以借助各种 CAID 平台或技术手段来实现。同时，设计模式也从原来的面向单一产品向面向产品族或某一大类产品转变。而面向产品族或面向产品品类的设计模式<sup>[38]</sup>，更需要利用计算机的信息处理量大、处理速度快的特点，这也使得未来的产品创新活动对 CAID 平台的依赖度越来越高。

个性化定制的关键是产品的可定制化问题。而产品的可定制化又对产品形态设计思想、方法和实现提出了新的要求。

（1）形态表达方式的易理解性。产品形态的表现方式符合大众消费者的理解和认知能力。

（2）形态设计过程的易操作性。产品形态调整步骤简单、操作方便，符合大众消费者的使用习惯和行为特点。

（3）形态设计结果的即时性。产品形态展示过程高效、真实而美感，符合大众消费者的审美心理。

（4）形态设计与形态定制的一体化。形态定制与订购结合，符合大众人群的网络购物习惯和常规消费程序。

目前,产品形态定制是产品可定制化的瓶颈问题。如何借助先进的 CAID 技术,开展清晰明确、快速方便的形态表达、形态调整与设计方式和方法研究,最终开发出方便实用的个性化产品形态定制服务系统平台,是实现产品全面可定制化的关键。



### 1.3 产品形态定制平台开发

相对于色彩定制、质感定制等浅层个性化定制要求而言,产品形态的个性化定制是难点,也是瓶颈点。产品形态定制,也是一个产品形态调整与变化的过程。通过对计算机辅助形态设计领域的了解与掌握,目前开发产品形态定制平台已具备了一定的技术实现性和应用可行性。

Computer Aided Form Design (CAFD),汉译为计算机辅助形态设计,是一种为草图设计、外形设计以及规划布局设计等设计工作或设计过程提供造型工具,功能强大的计算机辅助设计技术。近年来,随着 CAID 技术的发展,CAFD 在产品领域的应用已上升为主导位置<sup>[39]</sup>。

目前 CAFD 已经提出的研究方法有:基于语义的产品形态设计法<sup>[40]</sup>、基于组合特征的形态创新设计法和草图设计法,以及基于组合原理的概念创新设计方法<sup>[41]</sup>等。这些方法主要适用于草图设计和创新思维模拟。

(1) 形态创新过程原型建模方面。Khairul<sup>[42]</sup>结合 TRIZ 和 F3 法构建了一种面向概念设计的约束模型。Zhang Qing<sup>[43]</sup>等提出建立基于 FBS 的便携式电子设备的“情景模型”。胡丛林等<sup>[44]</sup>给出一种基于路径搜索的产品设计过程建模与执行系统。赵金鹏等<sup>[45]</sup>概括总结了机械电子产品的功能设计发展状况。李响等<sup>[46]</sup>提出基于智能规划的自动化概念设计的综合方法。管峰等<sup>[47]</sup>提出齿轮-连杆组合机构的模型设计方法和运动仿真过程。

(2) 形态创新求解方面。Gül E.<sup>[48]</sup>通过感知特性分解,对手机案例库进行分析并建立基于用途的手机产品族设计方法。Borhen<sup>[49]</sup>提出 CAD/CAE 集成的有限元分析法。Yael<sup>[50]</sup>提出面向特点用户群的产品族设计风险规避法。邢琳琳<sup>[51]</sup>提出复杂机械产品再制造装配过程的在线质量控制法。刘仁伟<sup>[52]</sup>尝试产品创新设计系统的 TRIZ 法。陈旭玲<sup>[53]</sup>提出面向机电产品技术演化与升级的“概念设