

解构·重构思维下的仿生产品参数化生成研究

赵芳华, 李明仪*, 王璇, 张笑

(河北工业大学, 天津 300401)

摘要: **目的** 在解构·重构思维下探索产品形态创新方法, 发掘产品形态仿生设计的方案多样性。**方法** 阐述了解构·重构思维的理论应用、参数化设计方法应用流程。以自然花朵为实例研究, 在搜集的牛津 102 与 17 花朵数据集中筛选出 158 张样本图片; 首先通过 Grabcut、Sobel、Canny 等相关轮廓算法得出花朵平面轮廓, 将特征轮廓进行解构分类后参数化表征; 其次利用 Rhino-Grasshopper 软件重构花朵抽象三维模型, 利用产品结构约束重构仿生产品; 最后以灯具为例, 调整参数后得到有花朵形态特征的产品形态重构群, 得到基础仿生灯具模型, 结构约束后得到仿生灯具三维模型。**结论** 该方法进一步探索了计算机辅助产品设计研究, 实例表明自然花朵通过此方法可以生成大量具有创新性的形态初步模型, 提高设计效率。

关键词: 解构·重构思维; 花朵形态; 参数化设计; 灯具仿生

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)22-0052-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.22.007

Parametric Generation of Biomimetic Products under Deconstruction and Reconstruction Thinking

ZHAO Fang-hua, LI Ming-yi*, WANG Xuan, ZHANG Xiao

(Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the innovative methods of product form under the thinking of deconstruction and reconstruction, and explore the diversity of solutions for bionic design of product form. The theoretical application of deconstruction and reconstruction thinking and the application process of parametric design methods were expounded. With natural flowers as a case study, 158 sample pictures were selected from the 102 and 17 flower data sets collected in Oxford. Firstly, the flower plane profile was obtained by the contour correlation algorithms such as Grabcut, Sobel and Canny, and the feature contour was deconstructed, classified and parametrically characterized. Secondly, the Rhino-Grasshopper software was used to reconstruct the abstract three-dimensional model of the flower, and the bionic product was reconstructed by the structural constraint. With the lamp as an example, after adjustment of parameters, the product form reconstruction group with flower form characteristics was obtained, and the basic bionic lamp model was gotten. After the structural constraint, the 3D model of bionic lamp was obtained. This method further explores the research of computer-aided product design, and the example shows that natural flowers can generate a large number of innovative preliminary models for form through this method, which improves design efficiency.

KEY WORDS: deconstruction and reconstruction thinking; flower form; parametric design; bionic design of lamp

产品形态创新在整个产品设计过程中至关重要, 同时也是工业设计领域研究的难题。目前设计方案主要依靠设计师的经验和技术, 方案产生的效率和数量

存在局限性, 产品风格也缺乏一定的艺术表现力。随着计算机辅助几何设计技术的不断突破与发展, 产品形态设计风格日趋开放创新。日益兴起的参数化设计

收稿日期: 2023-16-13

基金项目: 2022 年河北省研究生课程思政示范课程、教学名师(团队)立项建设项目(YKCSZ2022020)

*通信作者

为产品的风格创新提供便利。

产品与自然界多元化融合为产品形态创新提供了新的设计方法和思路,提升了产品的内涵价值^[1]。形态是产品最直接的造型语言,形态轮廓对造型特征表达更有优势。而形态仿生是产品设计最为常见的仿生形式^[2]。如罗仕鉴等^[3]提出将自然生物的形态轮廓与产品轮廓匹配后进行仿生融合产生不同仿生程度的产品形态。张有为等^[4]利用生物简化优化方法分析生物结构特征关系,将结构特征与形态分析求得的设计要素耦合,得到高耦合度的蝠鲞仿生溢油回收装置等。

参数化和产品设计的密切结合,为形态仿生应用拓宽思路^[5]。参数化设计通过参数调整及数据逻辑可获得多种方案结果,设计师的灵感能有效地被激发,筛选细化后确定最佳解决方案。自然界有迹可循的规律与秩序为参数化提供了数学逻辑,参数化的逻辑建构可以创造出仿生形态。参数化的形态仿生带来艺术趣味性,更贴近现实人们的审美需求。

解构·重构思维可以视作是解构主义与构成主义的产物,其着重对整体单元解析,提取代表性元素,再依据新的结构思路重建,赋予其新的表现力^[6]。本文尝试将此思维应用于仿生设计。由于色彩艳丽、形态各异等因素,花朵在大自然中一般被视为美的形象代表,通过表现花朵的形态轮廓,结合恰当的表现形式,展示花朵的意境美。将自然花朵作为待解构的仿生对象,灯具作为产品对象进行重构。

本文以自然花朵形态为仿生实例研究,在解构·重构思维下提出仿生产品参数化形态生成方法,尝试借助解构·重构思维的美学视域与参数化形态生成的计算机理性视角,以开放跨学科式的文化视角对花朵进行抽象式形态重构,从美学角度出发构建合乎产品美学的形态仿生模型,探究仿生产品形态的新途径。

1 主要理论方法与构建流程

1.1 解构·重构思维

解构·重构思维理解为将对象的具象形态进行拆解分析,再提取具有代表性的特征元素,比如:整体外观、局部形态或者微观特征等,并以全新的方式抽象重组以获得新对象的一种思维模式^[7]。

目前解构主义方面研究较多,重构方面研究较少。解构主义意为分解和拆解,对本体进行解构、重组、再认识。解构·重构的意义是指某种特定的东西或象征,在其固有的架构下,会伴随着时代的流逝而定型,这样就会丧失其原本的生机与活力,淡出人们的视野。在此背景下,人们需要打破传统的印象与架构,对事物、符号的意义和形态进行分解或颠倒,然后根据新的思路,对事物或符号进行重构,使其具有

新的表达意义^[8]。

解构·重构思维常用的方法包括平面化解构、几何化解构、符号化解构、抽象式解构、抽象式重构、具象式重构。由于研究对象是自然花朵,因此以受众偏好的花朵形态角度进行研究。单角度难以模仿它的具象,本文将利用平面化方法对顶面观与侧面观的花朵形态进行解构,以及利用抽象重构的方式来探索花朵的意象美与产品形态的结合。花朵顶面观、侧面观角度说明见图 1。

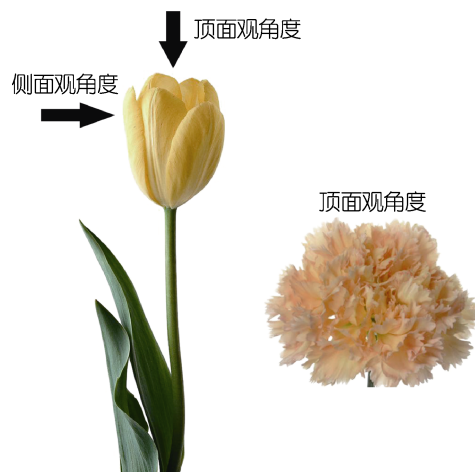


图 1 花朵顶面观、侧面观角度说明
Fig.1 Explanation on top view and side view angle of the flower

1.2 参数化形态仿生

参数化设计是指将产品主要特征参数化,在输入端控制多个参数构造相对复杂多变的几何形体,以获得满足设计人员要求的设计结果,核心思想是将产品尺寸设置为函数的变量,通过更改参数值自动生成不同效果的设计方案^[9]。

形态仿生是人类设计的产品形态仿自自然界生物的形态特征。而参数化形态仿生以自然元素为引导,同时结合程序算法与规则逻辑,构造的形态兼具具象与抽象两种风格,协同创新下的产品方案也更具备视觉冲击力^[10],突破了传统仿生设计方法的局限性。

已有研究以参数化的形式重构自然植物形态,如笛卡尔用参数方程表现植物叶形态特征,沃格尔利用计算机重现向日葵花盘的双螺旋结构^[5]。在参数化仿生设计领域的应用中,曾有建筑师仿照车前草叶片互不重叠排列的数学模型,设计出采光效果更好的螺旋式建筑;也有设计师模拟四叶草的叶片轮廓和向日葵的螺旋规律,利用 Grasshopper 编码构建出参数化肌理,并将这种植物数理结构广泛应用于产品设计中等。参数化形态仿生还需发掘出更多的研究方法,拓展设计理念,丰富设计应用。

本文主要基于 Rhinoceros - Grasshopper 软件作为产品参数化设计平台。Grasshopper 的特点即是利

用程序算法下达高级建模命令,生成动态可控的可视化三维模型。同时为设计师的“以形为主”的设计要求提供了多元化发展的形态结果。参数化设计设计过程较为独特,运算结果方案多为几何形态,具有抽象美学的特点。

1.3 参数化仿生产品的构建流程

本文设计方法构建流程: 首先将搜集的数据集样

本经过设计师和花艺师的筛选得出样本图片库; 其次依次利用 GrabCut、Sobel、Canny 等取轮廓提取相关算法得到边界明显的梯度图片轮廓, 将花朵轮廓解构并分类成 4 种花朵类型与 9 种花瓣形式, 对花瓣形式进行参数化表征及分析形态逻辑; 最后利用 Grasshopper 软件插件实现花朵形态的逻辑重构, 加入产品结构组织后实现仿生产品形态的组合重构, 调整多个参数后可以得到大量创新性的形态初步模型, 研究流程见图 2。

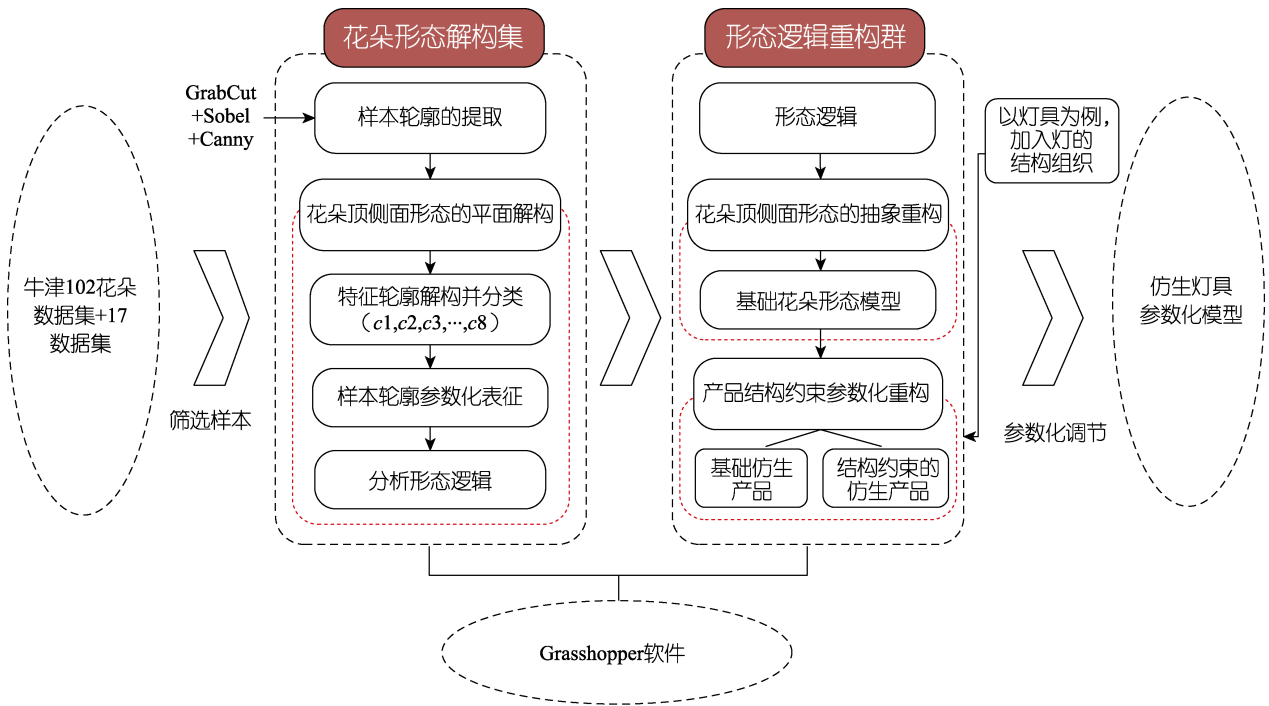


图 2 解构·重构思维下的产品参数化形态生成模型的研究流程

Fig.2 Research process of product parametric form generation model under deconstruction and reconstruction thinking

2 解构·重构思维下仿生形态参数化生成方法应用

2.1 获取与筛选样本

1) 样本数据的获取: 通过网站爬虫、花朵数据集官方网址下载等途径尽可能全面地收集花朵图片样本, 下载的数据包括国外牛津 102 花朵数据集 (Oxford 102 flowers) 与牛津 17 花朵数据集 (17 Category Flower Dataset)。牛津 102 花朵数据集包含 102 个类别, 每个类别包含 40 到 258 个图像; 此外还选取了由牛津大学视觉几何组织 (Visual Geometry Group,VGG) 所提出的在英国比较常见的 17 种花构建的数据集, 每个花朵类别有 80 张图片, 统计 1 360 张图片。两个数据集共提供 9 390 张图片。

2) 样本的筛选: 由 5 名经验丰富的设计师与花艺师从数据集中选择合适的花朵图片进行解构仿生, 在选择的过程中遵循 4 个基本原则: 去除同等科类, 同等形态的相似样本; 去除画面花朵过小, 表

现方式为花簇的样本; 去除花瓣过于细长, 表现方式不规律的样本; 去掉背景复杂, 花朵轮廓识别不明确的样本。所有参与的设计师与花艺师共同商议去除蝶形花冠、唇形花冠等两侧对称的花, 最终选取 158 个花朵样本作为主要研究的顶面观花朵样本类型, 花朵样本数据库见图 3。

2.2 花朵形态解构

2.2.1 基于轮廓提取相关算法的样本处理

花朵的形态与结构比较复杂, 可以通过提取轮廓线得到花朵的主要形态特征。通过 Python 实现自动提取轮廓, 减少设计师的轮廓绘制工作量, 将筛选后的图片进行处理, 针对输入的花朵图像, 首先运用 GrabCut 图像分割算法, 人工标注花朵前景、自动去除背景; 利用 OpenCV 的 Sobel 算子提取前景花朵图片的一阶梯度图片; 利用 OpenCV 的 Canny 轮廓提取算法提取具有明显边界的梯度图片轮廓, 从而提取花朵的整体形态。相比较利用二维软件提取形态轮廓的方法, 此方法工作效率增加。



图 3 花朵样本数据库 (部分)
Fig.3 Flower sample database (partial)

步骤 1: 样本前景提取。利用 GrabCut 算法正确地划分每个像素为前景或是背景区域, 实现图像前景区域的提取。以人工标注的形式框标出前景区域, 其中标注得到的种子像素点为高斯混合模型及时提供参数学习实现收敛, 迭代后的高斯混合模型来创建能量函数 E , 包含区域项 U 和边界项 V 。高效地实现了花朵图像的分割^[11], 分割效果见图 4。

能量函数 E 的计算见式 (1)。

$$E(a, k, j, z) = U(a, k, j, z) + V(a, z) \quad (1)$$

区域项 U 的计算见式 (2)。

$$U(a, k, j, z) = \sum_n D(a_n, k_n, j, z_n) = - \sum_n \log \pi(a_n, k_n) p(z_n | a_n, k_n, j) \quad (2)$$

边界项 V 的计算见式 (3)。

$$V(a, z) = \gamma \sum_{(m, n) \in c} [a_m \neq a_n] \exp - \beta \|z_m - z_n\|^2 \quad (3)$$

其中: $\phi = \{\pi(a, k), \mu(a, k), (\alpha = 0, 1), (k = 1, \dots, K)\}$, 其中 α 和 z 表示像素标签和灰度阵列, 取值范围为 $\{0, 1\}$, K 通常为 5, 表示高斯混合模型当中目标和背景分别使用的高斯组件数组个数。 π 表示 GMM 中的高斯分量的权重, μ 表示期望, γ 为常量, C 为相邻

像素对的集合。

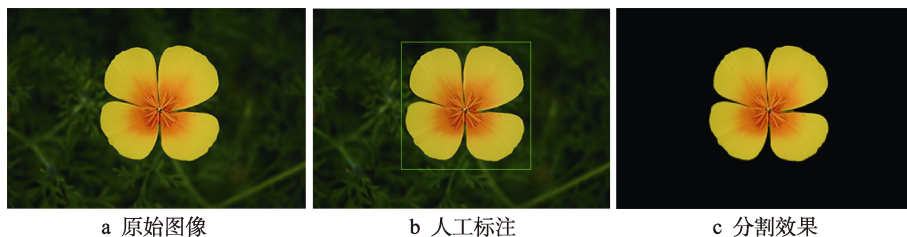
步骤 2: 计算轮廓定位。通常利用一阶导数或者二阶导数来检测灰度变化, 从而确定轮廓。而一阶导数与二阶导数分别以最大值和过零点的位置作为对应的轮廓的范畴。选取 Sobel 算子作为一阶导数的轮廓算子, 该算子用于计算图像亮度相似平均值, 根据图像轮廓旁边的亮度把该区域内将超过一定数量的区域内的特定点记为轮廓。相比较其他轮廓算子, Sobel 算子的轮廓定位精度更高, 轮廓计算见式 (4)。

$$\mathbf{d}_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{d}_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: $\mathbf{d}_x$ 代表水平方向, $\mathbf{d}_y$ 代表垂直方向。运行结果见图 5b。

步骤 3: 轮廓边界清晰。根据 Sobel 算子在水平与竖直方向上计算一阶导数得到的图像梯度 ($\mathbf{d}_x$ 和 $\mathbf{d}_y$), 获取边界的梯度和方向。采用 Canny 轮廓检测算法作为二阶导数将模糊的边界变得清晰, 见式 (5)。

$$d = \sqrt{\mathbf{d}_x^2 + \mathbf{d}_y^2} \\ \theta = \alpha \tan 2(\mathbf{d}_x, \mathbf{d}_y) \quad (5)$$



a 原始图像

b 人工标注

c 分割效果

图 4 a.b.c 为 GrabCut 算法分割过程

Fig.4 a.b.c representing the segmentation process of GrabCut algorithm

式中： d 为边界梯度， θ 为边界方向的夹角。步骤 1、2、3 结果对比见图 5。

2.2.2 花朵顶侧面形态的平面解构

2.2.2.1 特征轮廓解构与分类

解构形态元素是整个参数化逻辑模型的基础。在基于 Canny 轮廓检测算法将图像处理成形态轮廓的情况下，采用平面化解构方法，可从自然对象中提取出能够反映它的基本外观特征的平面形象，来作为基本的形态要素。

顶面观的形态要素主要包含 5 个主要特征：花朵轮廓、花瓣形式、花瓣个数、花瓣排列样式、花蕊大小。其中花瓣排列样式包括旋转式、覆瓦式或镊合式^[12]，花蕊特征不明显，故不计。通过将花朵轮廓拟合为多边形或者凸包，可以求取轮廓的各种特征。轮廓的特征可分为轮廓“简单”或“复杂”“饱和”或“不饱和”“有无较大缺陷”“凸性是否明显”

“锐角比率的高低”^[13]。本文依据前 2 种轮廓特征对花朵样本进行分类，并总结出花瓣形式。首先结合轮廓边角数（The number of corners of the profile, N_c ）、面积周长比（Area Perimeter Ratio, A_p ）来判定轮廓“简单”或“复杂”；其次在判定“简单”或“复杂”之后，通过外接圆饱和度（Circumscribed circle saturation, C_c ）、凸包饱和度（Convex hull saturation, C_h ）分别作为轮廓“简单”和“复杂”对象的饱和度判定依据。用 C 语言中的函数库依据式（6）~（8）可得花朵特征分类结果，各值数据见表 1。

$$A_p = \frac{(\text{多边形周长 } L_p)^2}{4\pi \times \text{多边形面积 } S_p} \tag{6}$$

$$C_c = \frac{\text{多边形面积 } S_p}{\text{外接圆面积 } S_c} \tag{7}$$

$$C_h = \frac{\text{多边形面积 } S_p}{\text{凸包面积 } S_h} \tag{8}$$

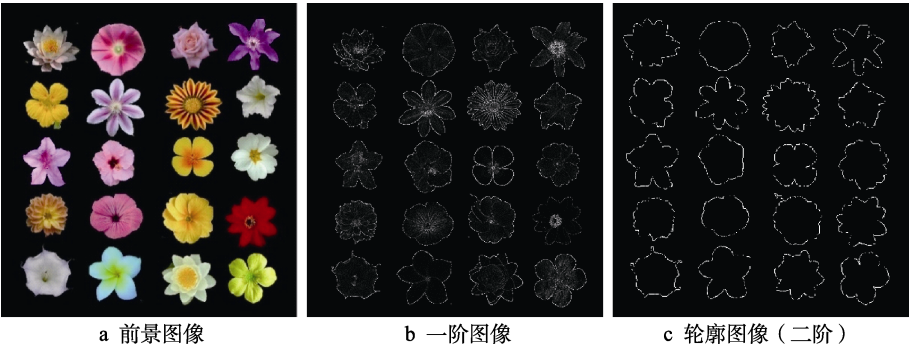


图 5 前景图像、一阶图像、轮廓图像（二阶）对比（部分图像）
Fig.5 Comparison of foreground image, first-order image and profile image (second-order) (partial image)

表 1 花朵特征分类（部分）
Tab.1 Flower feature classification (partial)

顶面观花朵 F	N_c	A_p	C_c	C_h	分类特征	花瓣形式 C
 f_1	10	3.84	—	0.581	复杂不饱和	 c_6
 f_3	10	4.10	—	0.554	复杂不饱和	 c_7
 f_{13}	5	3.14	0.543	—	简单不饱和	 c_1
 f_{17}	5	2.98	0.591	—	简单不饱和	 c_4
 f_{19}	6	4.24	0.421	—	简单不饱和	 c_2
 f_{39}	20	4.28	—	0.833	复杂且饱和	 c_8

续表 1						
顶面观花朵 F	N_c	A_p	C_c	C_h	分类特征	花瓣形式 C
	8	4.13	0.758	—	简单且饱和	
	6	4.22	0.423	—	简单不饱和	

通过分析侧面观的花朵形态要素,可将花朵侧面形态分为 2 种:一种为利用 RHINO 软件的贝塞尔曲线在界面 Front 或者 Right 视窗绘制出较复杂的形态,再拾取到 Grasshopper 中进行下一步的形态构建;另一种是直接通过 Grasshopper 中的曲线相关运算器对几何体进行调整,使其接近简单的花朵侧面观形态。

2.2.2.2 样本轮廓参数化表征

基于 Rhino-grasshopper 插件平台,结合花朵顶侧面的分类形态将特征参数进行表征。上述花瓣形式均可由贝塞尔曲线绘制得出。顶面观形态特征变化多但具有一定的规则,且都是基于圆形进行多边形花瓣形式的扩张。以 c_1 为例,通过归纳定义如下特征参数(见图 6)。

花冠外接圆半径(radius of circle corolla, R_c):与外接圆面积 S_c 数值相关,产品的半径尺寸约束着外接圆半径, $R_c \leq$ 产品半径 $r_{\max}$, 且大于 0;

花瓣内接圆半径(radius of United petals circle, R_p):考虑到产品的内部空间,所以 $R_c \geq R_p > 0$ 。

花朵的瓣数(number of petals, N_p):与轮廓边角

数 N_c 意义相当。同时取决于花瓣的形式,形式越复杂,瓣数越少,利用上节最大轮廓边角数在 Grasshopper 试验调节,简单花瓣形式的最高接受度是 20 瓣。

花朵轮廓的特征节点参数(node of flower, N_f):此参数数值越高,曲线越平滑,凸显几何规律形态,经 Grasshopper 试验调节,500 点为最佳节点数值。

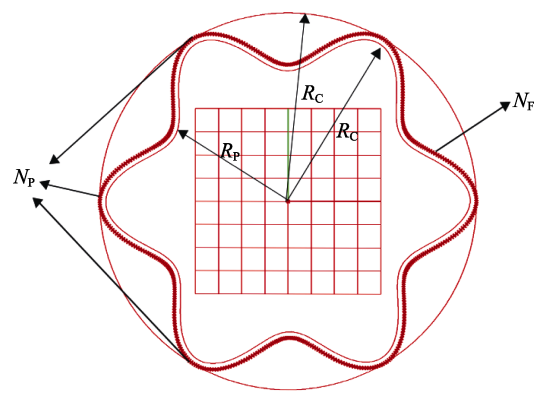


图 6 顶面观特征轮廓参数标注
Fig.6 Top view feature profile parameter dimension

表 2 各顶面观特征参数范围
Tab.2 Parameter range of each top view feature

参数名称	参数含义	特征参数
R_c	花冠(所有的花瓣统称于花冠)外接圆半径(radius of circle corolla)/mm	产品半径 $r_{\max} \geq R_c > 0$
R_p	花瓣内接圆半径(radius of United petals circle)/mm	$R_c \geq R_p > 0$
N_p	花朵的瓣数(number of petals)	N_p , 1~20 瓣
N_f	花朵轮廓的特征节点参数(node of flower)	$500 \geq N_f > 0$

侧面观形态特征变化规则过大,主要基于花瓣高度,两侧边的长度和夹角以及弧度曲率。通过归纳定义如下特征参数(见图 7)。

花冠两侧边设为 a 、 b ,花冠两侧边夹角(corolla included angle, A_c):花冠两侧边夹角即为产品的底部两侧夹角,即垂直与水平之间。

花朵高度(height of flower, H_f),花朵宽度(width of flower, W_f):取决于产品的高度或宽度的尺寸约束。

花瓣形态曲率(morphological curvature of petals, M_c):反映了花朵侧面观的轮廓曲线。

花瓣特征弧度(characteristic radian of petals,

C_r):由 Grasshopper 软件插件的干扰映射曲线调节。最后生成解构数据集。

2.3 形态逻辑重构

依据 Rhino-grasshopper 插件平台,拆解特征轮廓为单一或组合曲线进而解构为最初始的点元素形式,参数化模型中数理逻辑的思维蕴含在运算器中,通过分析运算器的算法目的,解析点面线关系及单元结构间的关系。通过运用多个运算器构建参数模型来实现点线面的参数关系,实现逻辑关系,呈现多元发展的重构形态。首先对花瓣形态进行总结归纳并分析特征参数,搭建逻辑框架,其次着手运用相关运算器构建三维参数模型,重构花朵三维形态。

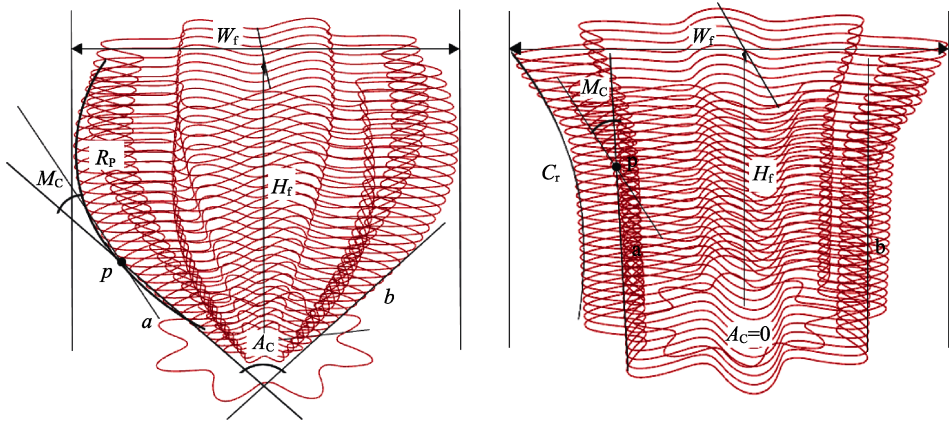


图 7 侧面观特征参数标注
Fig.7 Side view feature parameter dimension

表 3 各侧面观特征参数范围
Tab.3 Parameter range of each side view feature

参数名称	参数含义	特征参数范围
A_c	花冠两侧边夹角 (corolla included angle) / ($^{\circ}$)	$0 \leq A_c < 180^{\circ}$
H_f	花朵高度 (height of flower) /mm	$0 < H_f < \text{产品高度}_{\max} = H_{\max}$
W_f	花朵宽度 (width of flower) /mm	$0 < W_f < \text{产品宽度}_{\max} = W_{\max}$
M_c	花瓣形态曲率 (morphological curvature of petals)	$0 \leq M_c$
C_r	花瓣特征弧度 (characteristic radian of petals)	Grasshopper 软件客观提取

2.3.1 花朵顶侧面形态的抽象重构

花朵形态模型基于二维轮廓线的形态特征,通过阵列、旋转、曲线映射或混合操作创建。

步骤 1: 顶面观轮廓重构。花朵顶面观轮廓参数化模型的 4 个参数输入端,分别为花冠外接圆半径、

花瓣内接圆半径、花朵的瓣数、花朵轮廓的特征节点参数,步骤为构建花冠外接圆平面、横向框架构建基准点群、设置花瓣曲线干扰映射 (Gaussian 曲线)、得到花朵顶面观轮廓曲线。从顶面观的角度用 Rhino-Grasshopper 软件创建花朵特征参数化模型的具体生成图解,见图 8。

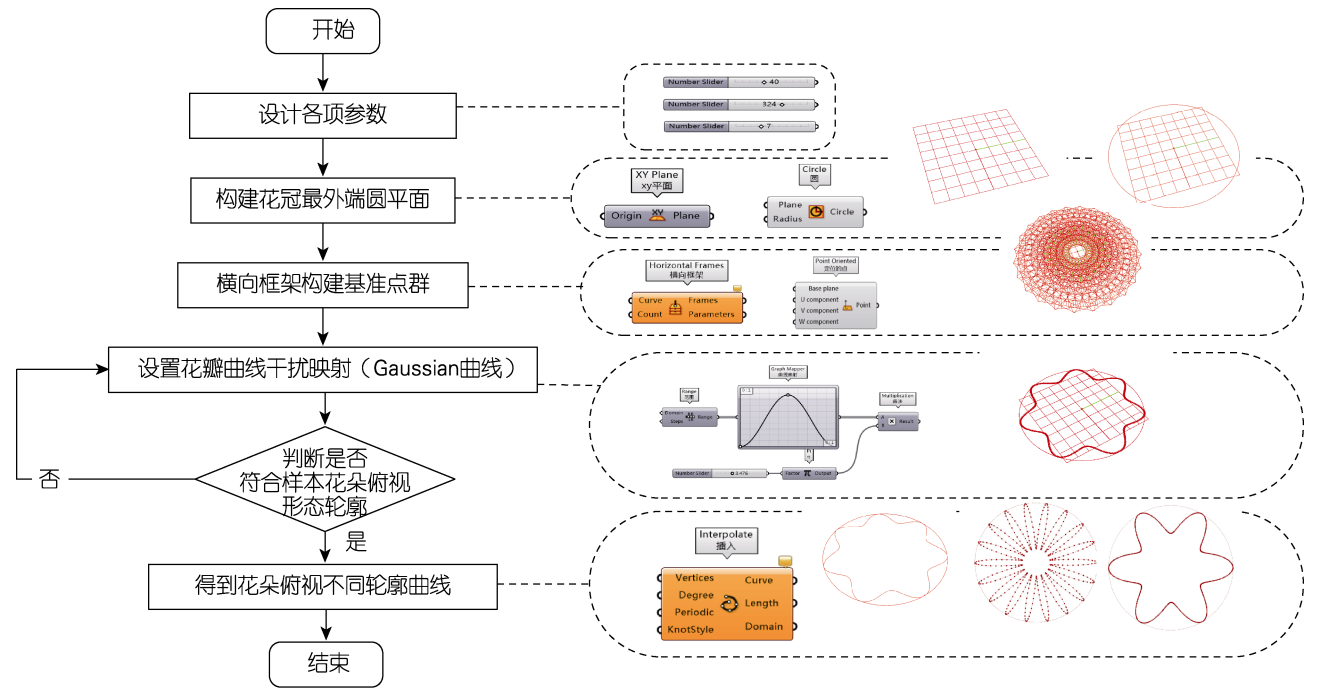


图 8 创建花朵顶面观模型图解 (部分)
Fig.8 Creation of flower top view model illustration (partial)

步骤 2：侧面观轮廓重构。在顶面观的参数化模型的基础上，花朵侧面观平面轮廓参数化模型中有 4 个参数输入端，分别为花朵高度、花朵宽度、花朵特征弧度及顶面观阵列的阶数，主要步骤为向上移动阵列曲线，设置侧面形态干扰映射（sine 曲线），设置旋转干扰（Gaussian 曲线），得到各种参数的花朵侧面观轮廓几何体。创建花朵侧面观形态特征的生成图解见图 9，由此构建了基础花朵形态三维模型。

通过在构建花朵顶面观版块与侧面观时，调节多

个参数运算器可得多种顶侧面观的形态模型，以满足不同要求的形态特征。如图所示，见图 10~11。

2.3.2 产品结构约束参数化重构

现有许多学者的研究已经证实约束与参数与表达模型相关联，例如 Kyratzi 等^[14]提出了一个集成的设计意图体系结构，将元约束和意图规则应用到草图、特征和模型层次的建模过程中，模型意图规则建立在特征意图规则和特征关联的基础上，最后生成模型的整体设计意图。Alcaide-Marzal 等^[15]通

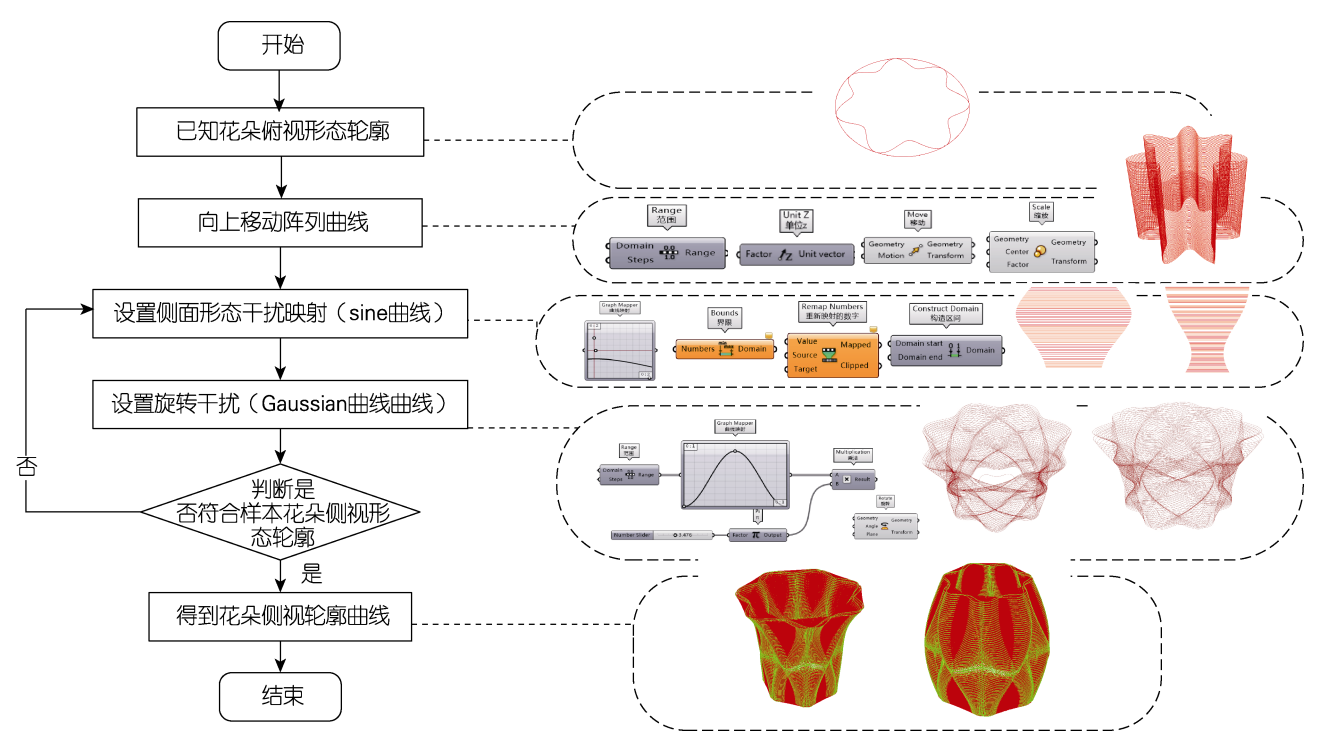


图 9 创建花朵侧面观模型图解
Fig.9 Creation of flower side view model illustration

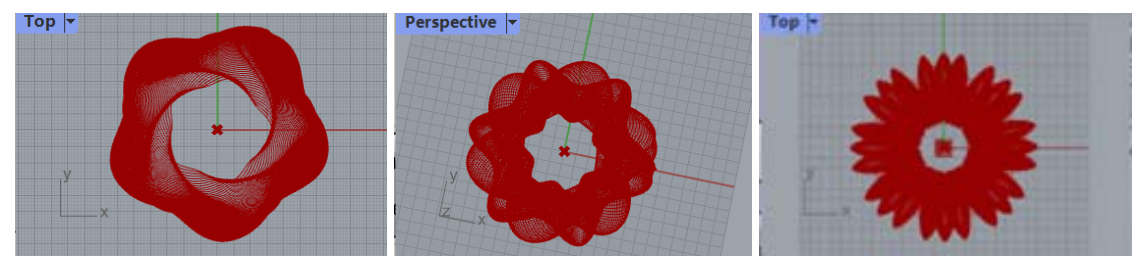


图 10 花朵顶面观（部分）
Fig.10 Flower top view (partial)

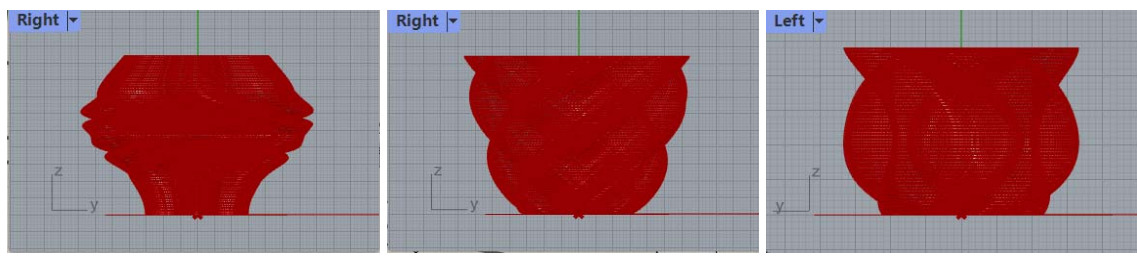


图 11 花朵侧面观（部分）
Fig.11 Flower side view (partial)

过定义初始产品结构语法与形状转换规则，构建了概念产品生成模型，以简单或复杂的产品验证了此模型可以生成大量不同的产品。产品参数化模型是用一定的形态生成规律和约束来表达形态逻辑与设计意图的。本文具体的产品结构约束参数化重构步骤如下。

步骤 1：构造花朵顶面观二维轮廓，并使用三维参数化基本操作（例如拉伸、旋转等）创建三维模型。然后与产品结构组织匹配，生成可行的产品。

步骤 2：对产品进行结构组合分析，设置结构形状转换规则，包括替换、结构转换，以及进一步删除，以构成产品结构的元素框架，并进行修改。

步骤 3：在产品结构约束下，对基本花朵模型进行整体或部分二次转换，以显示形状多元化。形状规则由平移、缩放、反射、阵列、旋转等结构变换组成，通过参数调整和规则变换，理论上可以无限地生成各种形状的场景。

2.3.3 灯具实例应用

产品的基本建模流程即分析构成元素与结构组织，解构形态逻辑，构建某产品形态的参数模型，最后作整体或者细节的测评与调整。

以灯具作为设计方法应用对象，如台灯、吊灯等基础灯具产品的生成逻辑可以简要概括为：利用核心运算器生成规律形象化的灯具表皮，并将表皮附在基于几何体的变形体上。复杂结构的灯具产品的建模流程为首先，简要分析产品组织结构，构建出基础单元灯具及相关必要结构与装饰结构，参数约束结构间的组织关系与尺寸联系，构建参数模型后进行梳理与调节；其次，通过调节基础花朵形态模型的参数生成系列基础仿生灯具产品，灯罩材质选择的是有色玻璃，给灯泡设置相应的颜色光源，输出方案如图 12~14 所示；最后，按照灯的结构组织去约束花朵形态三维模型，从而生成产品结构约束的仿生灯具，导入渲染软件优化，输出方案如图 12 所示。

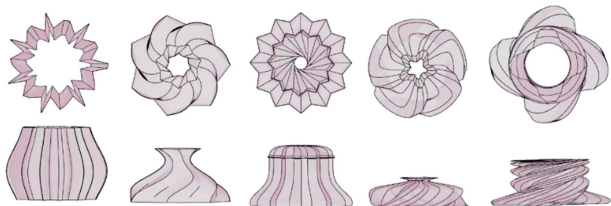


图 12 基础仿生产品三维模型
Fig.12 3D model of the basic bionic product

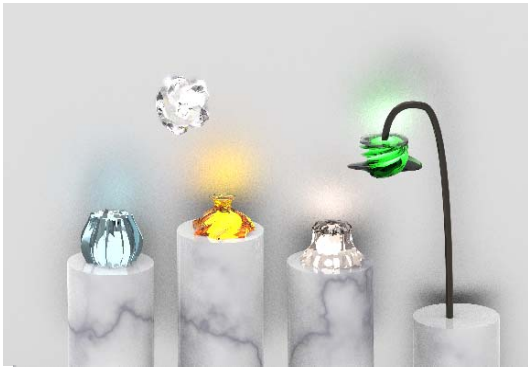


图 13 基础仿生灯具
Fig.13 Basic bionic lamp



图 14 产品结构约束仿生灯具
Fig.14 Bionic lamp with structural constraint

3 结 语

本文提出解构·重构思维与参数化设计方法相结合，探索产品仿生设计的新途径。参数化设计方法通

过程序算法辅助设计过程对各个参数的逻辑关系进行重构，形态特征与结构属性之间相互约束与映射，同时多元结果也促进了设计师的产出效率。

本文将解构·重构作为理论参照，以灯具为产品应用对象，以自然花朵形态为仿生对象，利用工作效率更高的轮廓提取相关算法得到花朵顶侧面轮廓图，聚类分析得出花瓣形态的类型，并赋予参数化表征；运用 Grasshopper 的逻辑运算器构建顶侧面观轮廓、调节参数，重构出参数化基础仿生三维模型，灯具结构约束得出大量组合的参数化仿生灯具三维模型。最后通过不断调节与优化，在功能与形态上都达到设计师的要求，同时仿生产品与使用环境相融合，使产品形态在视觉效果上更自然。本文针对灯具艺术创新性与仿生方案多样化的需求，提出可以采用解构·重构理论和参数化设计方法去优化，在仿生设计领域为设

计师提供了一个参考性的设计思路。此外,自然花朵的颜色与纹理的参数化生成及整体形态生成的评价体系也有待研究,未来将结合自然花朵实现更深入的产品创新。

参考文献:

- [1] 时晓霞. 包装容器的自然形态仿生设计[J]. 包装工程, 2015, 36(22): 51-56.
SHI Xiao-xia. Natural Form Bionics Design of Packaging Containers[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(22): 51-56.
- [2] 罗仕鉴, 张宇飞, 边泽, 等. 产品外形仿生设计研究现状与进展[J]. 机械工程学报, 2018, 54(21): 138-155.
LUO Shi-jian, ZHANG Yu-fei, BIAN Ze, et al. Status and Progress of Product Shape Bionic Design[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2018, 54(21): 138-155.
- [3] 罗仕鉴, 边泽, 张宇飞, 等. 基于形态匹配的产品仿生设计融合[J]. 计算机集成制造系统, 2020, 26(10): 2633-2641.
LUO Shi-jian, BIAN Ze, ZHANG Yu-fei, et al. Product Bionic Fusion Design Based on Shape Matching[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2020, 26(10): 2633-2641.
- [4] 张有为, 孙虎. 基于形态仿生的海上溢油回收装置设计与评估[J]. 图学学报, 2022, 43(5): 927-935.
ZHANG You-wei, SUN Hu. Design and Evaluation of Offshore Oil Spill Recovery Devices Based on Morphological Bionics[J]. Journal of Graphics, 2022, 43(5): 927-935.
- [5] 韩冰. 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.
HAN Bing. Research on the Application of Morphological Bionics in Industrial Design Based on Grasshopper—Taking the Surface Tex-Ture Design of the Footpad Structure of Bionic Tree Frog as an Example[D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2019.
- [6] 李超. 解构与重组[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2020: 12-13.
LI Chao. Deconstruction and Recombination[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2020: 12-13.
- [7] 王文中, 张树生, 余隋怀, 等. 基于解构·重构思维的潜水器舱室布局优化[J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27(7): 2045-2052.
WANG Wen-zhong, ZHANG Shu-sheng, YU Sui-huai, et al. Optimization of Submarine Cabin Layout Based on Deconstruction and Reconstruction[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2021, 27(7): 2045-2052.
- [8] 李杨, 孟激. 后现代社会的科技治理: 内涵、原理与理论指向[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(16): 52-61.
LI Yang, MENG Wei. Science and Technology Governance in Post-Modern Society: Connotation, Principle and Theoretical Direction[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2023, 40(16): 52-61.
- [9] 刘宗明, 李羿璇. 基于 Grasshopper 插件的灯具参数化设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39(18): 209-213.
LIU Zong-ming, LI Yi-xuan. Parametric Design of Lamps Based on Grasshopper Plug-in[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(18): 209-213.
- [10] 胡好, 王柳庄, 彭圣芳. 参数化设计在首饰个性化定制中的应用策略研究[J]. 装饰, 2020(11): 128-129.
HU Hao, WANG Liu-zhuang, PENG Sheng-fang. Research on the Application Strategy of Parametric Design in Personalized Customization of Jewelry[J]. Art & Design, 2020(11): 128-129.
- [11] ROTHER C, KOLMOGOROV V, BLAKE A. "Grab-Cut": Interactive Foreground Extraction Using Iterated Graph Cuts[J]. ACM Transactions on Graphics, 2004, 23(3): 309-314.
- [12] 金银根. 植物学[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2018: 259-261.
JIN Yin-gen. Botany[M]. 3rd ed. Beijing: Science Press, 2018: 259-261.
- [13] 白帆, 郑慧峰, 沈平平, 等. 基于花朵特征编码归类的植物种类识别方法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2015, 49(10): 1902-1908.
BAI Fan, ZHENG Hui-feng, SHEN Ping-ping, et al. Plant Species Identification Method Based on Flower Feature Coding Classification[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2015, 49(10): 1902-1908.
- [14] KYRATZI S, AZARIADIS P. Integrated Design Intent of 3D Parametric Models[J]. Computer-Aided Design, 2022, 146: 103198.
- [15] ALCAIDE-MARZAL J, DIEGO-MAS J A, ACOSTA-ZAZUETA G. A 3D Shape Generative Method for Aesthetic Product Design[J]. Design Studies, 2020, 66: 144-176.

责任编辑: 陈作