

肌理韵律的参数化实现

殷晓晨, 刘勇, 王娜, 吴世蔚

(合肥工业大学, 合肥 230001)

摘要: **目的** 以肌理设计中蕴含的韵律为研究对象, 通过参数化的设计方法, 将肌理设计中的韵律构成由定性的表现转化为定量的设计, 借助计算机强大的运算能力可以有效提升肌理设计的智能化、系统性与适应性。**方法** 通过系统分析肌理设计的韵律法则, 建立基于肌理韵律的数学函数模型, 并将其作为肌理参数化设计的基本参数输入参数化设计系统进行编码识别, 在此基础上构建参数化设计框架, 实现基于韵律法则的肌理参数化设计。**结论** 在参数化设计框架基础上构建肌理参数化设计平台, 借助可自定义的肌理韵律的函数模型, 可以丰富肌理韵律的参数化生成形式, 为肌理韵律的设计提供科学的方法指导。参数化的实时交互技术可以快速生成大量肌理设计方案, 有助于提高设计效率, 方便生成优化的肌理设计方案。

关键词: 肌理设计; 肌理韵律; 参数化; 函数模型

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)06-0176-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.06.023

Parametric Realization of Texture Rhythm

YIN Xiao-chen, LIU Yong, WANG Na, WU Shi-wei

(Hefei University of Technology, Hefei 230001, China)

ABSTRACT: With the rhythm contained in the texture design as the parameterized research object, the rhythm composition in the texture design is transformed from qualitative expression to quantitative design through the parameterized design method; and the intelligence, systematicness and adaptability of the texture design can be effectively improved with the help of powerful computer operation. Through the system analysis texture design law, the corresponding mathematical function model based on texture of rhythm is established and taken as the basic parameters in parametric design of texture and input in the parameter system for code identification. On the basis of this, a parametric design framework is implemented to realize texture parametric design in the form of rhythm. By establishing texture parametric design platform based on parametric design framework, on the one hand, the richness of mathematical function model can increase the texture metrical forms while the texture of rhythm design provides the scientific basis; parameterized real-time interaction technology can quickly generate a large number of texture design schemes, which is helpful to improve design efficiency and facilitate the optimization and improvement of texture design schemes.

KEY WORDS: texture design; texture rhythm; parameterization; function model

肌理是 CMF 设计中的重要元素, 依靠设计师的专业思维, 肌理可以对产品形态起到装饰作用, 让其能够更和谐、可靠、与众不同^[1]。由于肌理具有结构单元数目众多、排列形式复杂多变的特点, 这在一定程度上增加了肌理设计与修改的难度。增材制造^[2]、快速成型等技术的迅速发展, 对肌理的设计周期与效

率提出了更高的要求, 传统的反复设计、重复建模的肌理设计模式已无法适应日益增长的定制化的市场需求和多元化的用户诉求。新型设计方法是依托数字信息与图形技术^[3]而衍生出来的, 参数化技术的出现给肌理的数字化设计带来了新的可能。参数化设计根据对自然中存在的结构、形态、物理现象等的观察和

收稿日期: 2021-11-18

作者简介: 殷晓晨(1975—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为工业设计。

研究以获得定量规律, 并进行数据逻辑计算, 自动生成大量肌理形态, 其中包含与自然相似的理性美和韵律美, 能够产生强烈的视觉冲击, 从而引起用户的情感共鸣, 因此, 以数据逻辑生成为核心的肌理韵律参数化设计方法已成为产品 CMF 智能化设计的重要研究内容。

1 肌理及其韵律构成

1.1 肌理

肌理存在于一切自然物和人造物的表面, 其形式并不固定, 但通常是由大量最基本的点、线、面、体按照一定的结构关系构成^[4]。肌理作为 CMF 设计的重要元素, 可以给人带来独特的视觉和触觉体验。

1.2 韵律

韵律是自然事物规律及美的体现^[5], 例如自然肌理的生长规律、多肉植物叶瓣的参差排列等都蕴藏着节奏与韵律的美。设计师通过创造性思维对自然的规律进行归纳与总结, 并有意识地将其应用在肌理单元的结构关系中, 让肌理的设计呈现出相似的规律, 这

种可以引起情感共鸣的肌理单元之间的结构关系称为肌理的韵律构成。

肌理韵律是一种周期性的表现形式, 肌理单元之间的结构关系存在有规律的重复、有组织的变化等特点, 其本身可以带来形式上的统一和变化的美感, 因此, 韵律是一种能够被感知的美学规律, 遵循着对称与均衡、统一与变化等形式美法则^[6]。

1.3 肌理的基本韵律

肌理蕴含的基本韵律可以概括为重复韵律、渐变韵律、起伏韵律和替换韵律, 肌理韵律形式见图 1。肌理的 4 种基本韵律具体如下: 重复韵律, 一种或多种肌理单元之间遵循恒定的间距和联系排列; 渐变韵律, 肌理单元在排列组合过程中, 其结构关系按照一定比例、差值进行缩放、旋转, 或空间位置按照一定距离位移形成有秩序的疏密变化; 起伏韵律, 肌理单元某种结构关系表现出不稳定、忽大忽小、错落有致等特征, 形成活跃、明快的运动感; 替换韵律, 2 种或 2 种以上具有不同性质的肌理单元按一定规律交织穿插, 形成交替变换、抑扬顿挫的动感。



图 1 肌理韵律形式
Fig.1 Texture rhythm forms

2 肌理的参数化设计

2.1 参数化设计

参数化设计的本质是数据驱动设计^[7], 通过将参数数据输入既定的数据逻辑中来实现模型形态的生成, 在设计过程中用理性的思维来表达感性的意象, 可以减少设计师主观因素的影响。参数化的数据逻辑是以感性的意象为源, 结合几何学、物理学、生物学等多学科知识, 对自然中存在的结构、形态、物理现象等进行观察和研究, 以此获得基于自然美法则的科学数据理论^[8]。而参数化设计将这种简单结构从材质自身中独立出来, 使肌理设计不局限于材质自身。肌理的参数化更具有独立性, 这种独立性在非现实的虚拟空间中, 为肌理造型的多样性设计提供了无限的创造空间^[9]。

肌理的参数化设计方法是对肌理形态结构进行解析和重构, 有意识地将肌理韵律的内在规律映射为函数模型, 通过数据逻辑描绘肌理韵律形式, 借助参数化设计方法将其作为设计参数来约束肌理模型^[10],

并根据设定的内在系统, 量化赋值进而自动生成相应肌理。这种定量设计方法的关键是定义肌理韵律规律映射的函数模型, 它基于肌理设计内在的本质规律, 同时借助不同的函数模型可以使肌理表现出更多的复杂性和多元性, 设计师可以利用参数化设计的优势, 大胆尝试并自动生成大量的备选方案^[11-12]。

2.2 参数化肌理设计与传统肌理设计

肌理的参数化设计方法与传统的肌理设计方法有诸多不同, 主要表现在以下方面。

2.2.1 设计模式的差异

传统肌理设计往往将肌理作为整体来设计, 基于个人经验的肌理设计所蕴含的内在思维存在不确定性, 设计过程缺乏系统性进而导致设计不易修改。

参数化肌理设计是利用计算机的逻辑运算能力和图形衍化功能生成的肌理, 表达出的韵律需要依托一定的函数模型, 相较于传统设计有着更加精确的表现。例如, 肌理单元的间隙、色彩的渐变这些设计特征可以被量化, 参数化设计通过数据驱动肌理设计,

用数理的特征属性来控制肌理单元的密度、尺寸,能够更精确地通过参数控制肌理的生成与修改。

2.2.2 设计流程的差异

传统的肌理形态设计可以生成针对性的、单一的肌理方案。设计师根据自身设计经验构思肌理的形态轮廓,再通过草图绘制优化设计方案,最后三维建模呈现设计方案。该设计过程中的方案需要不停地被修改来完善,大量的重复工作会加重设计师的负担。而参数化设计相对于传统肌理设计流程来说,是对肌理特征约束条件的设计。针对目标肌理的各个特征建立函数关系,并通过参数的驱动,使设计各个阶段参数的调节都可逆。同时,参数化设计能够在设计过程中保留设计师的肌理设计思维演化过程,同时设计之初的各项数据也能存储下来,这为肌理后续的演变、优化、改良提供了便利,推动了肌理设计的发展与进步。

3 肌理的参数化设计方法

3.1 肌理参数化设计的基本要素

参数化设计的核心是数据逻辑,其过程包含3个基本要素:基本特征对象、特征对象的可控特征参数及特征对象之间的特定逻辑结构。在肌理的参数化设计中,基本特征对象为肌理单元,可控特征参数表现为肌理单元之间的间距、比例的大小数值等,肌理外在的韵律形式是通过函数模型的映射转换为对应的数据逻辑结构。

3.2 肌理参数化设计系统框架构建

肌理的几何构成主要包括肌理单元和肌理韵律2个部分,其中肌理单元的构成特征通常由简单二维图形或低阶空间结构表征,其参数化的转换过程较为简单。文中主要对肌理韵律形式的参数化实现过程进行研究,构建肌理韵律的参数化设计系统框架,见图2^[13]。

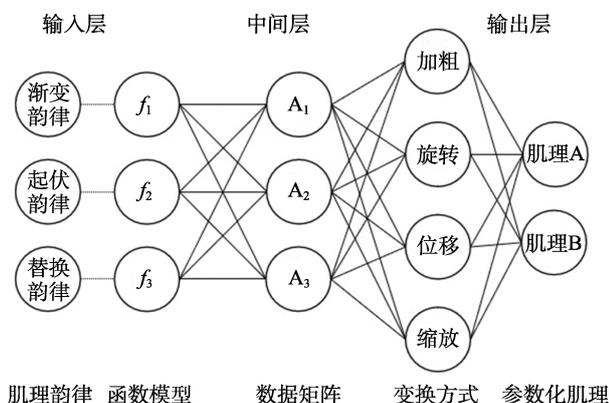


图2 肌理参数化模型

Fig.2 Parametric model of texture

肌理韵律的参数化设计系统框架包括输入层、中间层和输出层3个部分。在输入层中选择肌理的韵律形式,并根据其规律映射将对应的数学表征函数输入中间层,在中间层将肌理韵律的表征函数与肌理单元的其他特征参数进行标准化编码,以形成参数化数据矩阵,数据矩阵代表肌理设计意图与设计结果之间的数据逻辑关系,在输出层中通过参数化数据矩阵驱动肌理变换方式生成肌理方案,输出的肌理整体形态中将呈现出输入层对应的肌理韵律。

肌理参数化设计的核心是构建其韵律形式对应的数学表征函数,函数模型的构建会直接影响参数化设计中的变量维度。一般而言,肌理中往往蕴含一种以上的韵律形式,多种韵律形式的数学表达如下:

$$y = \sum_{i=1}^n y_i \quad (1)$$

其中, y 代表肌理, y_i 代表第*i*种韵律形式的肌理。

由于肌理的变换方式有加粗、旋转、位移、缩放4种,使用参数化数据矩阵驱动肌理单元变换方式时,可建立肌理韵律的变换函数关系如下:

$$y_i = W_p(X_i) \quad (p=1,2,3,4) \quad (2)$$

其中 y_i 代表第*i*种韵律形式的肌理, X_i 代表第*i*种韵律形式的数据矩阵, W_p 代表第*p*种变换方式。

3.3 肌理韵律形式的参数化表征

肌理单元在排列组合形成韵律的过程中,其形态结构关系按照一定的比例、差值进行缩放,或者空间位置按照一定距离进行位移形成疏密变化,产生一定的秩序,并表现出特定的数学规律,在参数化设计过程中,函数可以在韵律的外在形式和参数化内在数据之间形成映射关系。

以具有渐变韵律的肌理为例,将肌理单元作为自变量 x ,将肌理单元变换过程中的缩放比例、位移数值等数据作为因变量,绘制4种肌理单元变换方式下的曲线图,见表1。通过对测量数据的观察,选取肌理某一行或一列的2个任意肌理单元 a_1 、 a_2 ,当 $a_1 > a_2$ 时都有 $b_1 > b_2$ 或 $b_1 < b_2$, b_1 、 b_2 为其测量值,其规律与单调函数定义相符,其图像也表现为单调函数图像。由此可见,渐变韵律的肌理,其趋势映射的函数模型应为一定区间内的递增或者递减的单调函数。同理对具有起伏韵律、替换韵律的肌理进行测量,见表2。起伏韵律的肌理曲线与三角函数曲线相似,因此,起伏韵律映射的函数模型表达式 f 为正弦 \sin 、余弦函数 \cos 等,而替换韵律映射的函数模型为 $f=kx(k \neq m \cdot n, n$ 为常数)。

3.4 肌理韵律的矩阵数据模型

肌理的韵律本身并不具有数据性,需要对其对应的空间分布特征进行提取并形成数据模型,以获得参数化设计所需的数据结构^[14]。肌理的韵律是由多个肌理构成单元通过有规律的排布而表现出来的视觉特

表 1 连续渐变韵律形式的函数模型——递增单调函数

Tab.1 Function model of continuous gradient prosodic form: incremental monotone function

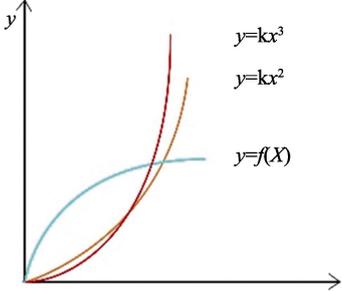
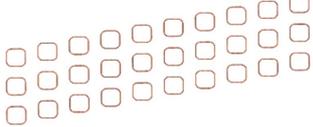
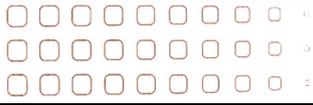
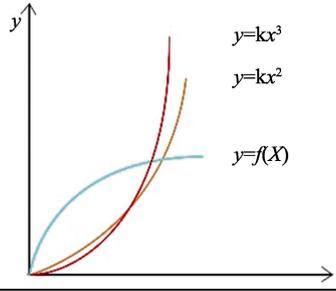
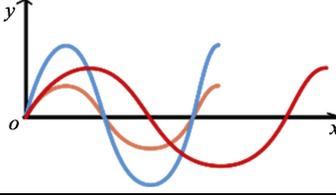
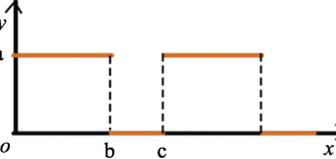
渐变韵律形式	变换方式	函数特征	示例函数
	加粗	肌理的渐变韵律其趋势对应的函数模型应为一定区间内的递增或者递减的单调函数	
	位移		
	缩放		
	旋转		

表 2 肌理韵律的映射模型
Tab.2 Mapping model of texture rhythm

肌理韵律	图形	结论	映射函数模型
渐变韵律		肌理渐变韵律其趋势对应的函数模型应为一定区间内的递增或者递减的单调函数	$y=k$ (k 为常数) $y=kx+b$ $y=kx^2+b$ $y=kx^2+kx+b$
起伏韵律		肌理起伏韵律表现与三角函数曲线相似，因此对应连续起伏的韵律的函数表达为正弦 sin、余弦函数 cos	$y=\sin x$ $y=\cos x$ $y=m*\cos(n*x)+k$ $y=m*\sin(n*x+k)$
替换韵律		肌理替换韵律归纳结果呈现为周期函数	$y=k(k \neq m*n, n \text{ 为常数})$

征，因此肌理韵律与肌理单元的空间分布特征具有一定的相关性，即肌理韵律可以描述为肌理单元空间分布特征参数的线性或非线性的函数。

通过提取表征肌理单元空间分布特征的具体或抽象属性，如肌理单元的空间位置、肌理单元的序列等，将其表达为肌理单元的空间分布特征参数矩阵 A 如下：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{j1} & a_{j2} & \cdots & a_{jk} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 a_{jk} 代表第 j 行第 k 列的肌理单元的空间分布

特征属性参数，则肌理韵律的参数化数据矩阵可以表示如下：

$$X_i = f_i(a) = f_i \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{j1} & a_{j2} & \cdots & a_{jk} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中的 f 为表征肌理韵律的线性或非线性的函数，是对肌理韵律数据逻辑的归纳与总结。

利用 Grasshopper 等参数化的软件，能够将数据矩阵 X_i 转化为参数化设计过程中的数据结构，其中数据结构的存储路径能够很好地记录肌理单元之间的关系。

3.5 多种韵律形式下肌理设计的参数化实现

探索多种韵律形式下肌理的参数化实现,将渐变韵律、起伏韵律、替换韵律同时作为参数,输入四边形肌理进行肌理参数化设计。

参数化相关软件繁多,笔者主要采用的是 Rhino+Grasshopper 软件平台^[15]。Grasshopper 是搭建在 Rhino 三维情境下的参数化插件,有别于其他传统建模软件,其采用程序算法来生成几何模型,并借助计算机的运算能力,可以精准控制大量几何模型。

3.5.1 基于连续渐变韵律形式的参数化实现

以肌理单元为四边形呈现出疏密渐变的肌理韵律为例,基于连续渐变韵律形式的参数化实现如下。首先分析肌理单元之间疏密关系,由于肌理单元间距不断增加,说明对应的非线性函数为递增函数。该案例选择的递增函数为一元二次方程 $f=ka^2$ (k 为常数,取值 0.035),并将其作为渐变韵律的函数表达。Grasshopper 中 evaluate 电池组与 expression 电池组可以接入函数模型表达式。根据肌理参数化函数关系 $X_{\text{渐变韵律}} = f(a)$, 确定四边形肌理单元的排列序号,将其作为其肌理单元特征属性,提取每个肌理单元序

号数据得到矩阵 $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & \dots \\ 0 & 1 & 2 & \dots \\ 0 & 1 & 2 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$, 通过对函数

$f=ka^2$ 赋值可以得到渐变韵律的量化数据矩阵

$$X_{\text{渐变韵律}} = \begin{bmatrix} 0 & 0.035 & 0.14 & \dots \\ 0 & 0.035 & 0.14 & \dots \\ 0 & 0.035 & 0.14 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$
。将 $X_{\text{渐变韵律}}$ 的数据矩阵

输入肌理的位移结构关系 W_1 (move 电池) 中,通过计算机技术来控制肌理单元沿横坐标轴方向的位

移,肌理单元排列将呈现出渐变的韵律。利用参数化软件得出肌理的连续渐变韵律方案时,一方面可以通过系数 k 来调节具体参数,以改变疏密程度,另一方面可以通过替换不同的函数模型来构造不同的渐变韵律效果,每一种递增函数都代表着不同的渐变形式。连续渐变韵律的参数化设计见图 3。

3.5.2 连续起伏韵律的参数化实现

在之前具有渐变韵律的肌理基础上,增加起伏的韵律,同样将四边形肌理单元的空间坐标作为该特征属性的矩阵 A , 起伏韵律映射的函数模型为 $f=\sin*a$, 优化函数 $f=m*\sin(n*a)$, 通过加入 m 、 n 两个变量,丰富起伏的韵律形式,提高可操作性,通过调节 m 、 n 的值可以控制函数曲线的振幅和周期,进而影响肌理中起伏韵律的形式。根据肌理参数化函数关系可以

得到数据矩阵 $X_{\text{起伏韵律}} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{j1} & a_{j2} & \dots & a_{jk} \end{bmatrix}$, 为了方

便对参数的调节控制,通常将数据范围映射到 (0,1)

区间,即 $X_{\text{起伏韵律}} = Q \begin{bmatrix} a'_{11} & a'_{12} & \dots & a'_{1k} \\ a'_{21} & a'_{22} & \dots & a'_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a'_{j1} & a'_{j2} & \dots & a'_{jk} \end{bmatrix}$, 通过调节

Q 可以控制肌理起伏的幅度。

增加起伏韵律后,该肌理设计函数关系为 $y=W_1(X_{\text{渐变韵律}})+W_1(X_{\text{起伏韵律}})+W_2(X_{\text{起伏韵律}})$, W_2 代表缩放。将起伏韵律的函数模型转化为数据矩阵,并作为设计因素输入肌理单元位移 (move 电池) 与缩放 (scale 电池) 的结构关系的输入端,参数化系统根据输入的参数对肌理单元进行位移、缩放,肌理单元在比例和空间排列上同时呈现出起伏的韵律,见图 4。

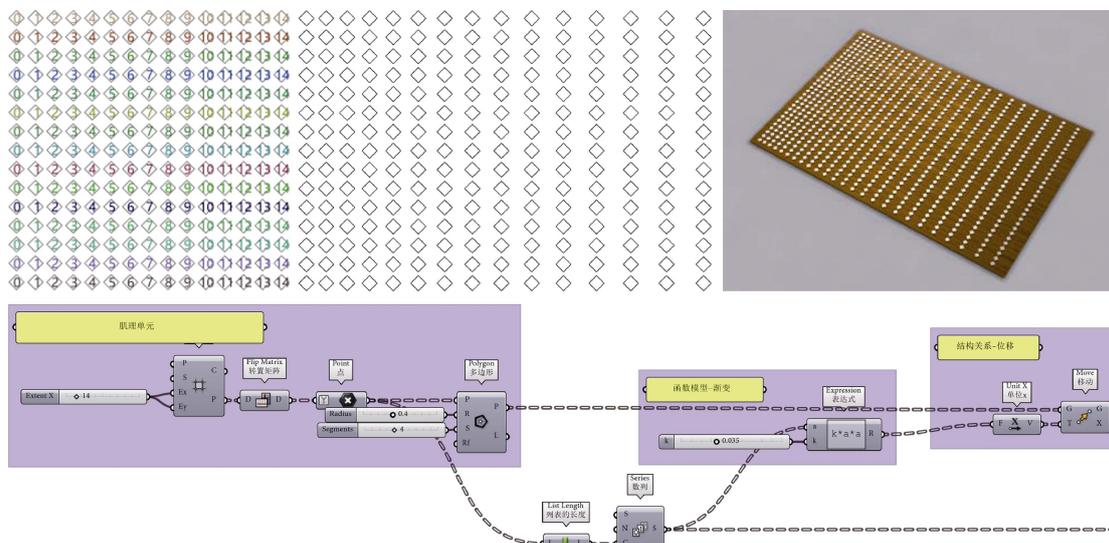


图 3 连续渐变韵律的参数化设计
Fig.3 Parametric design of continuous gradual rhythm

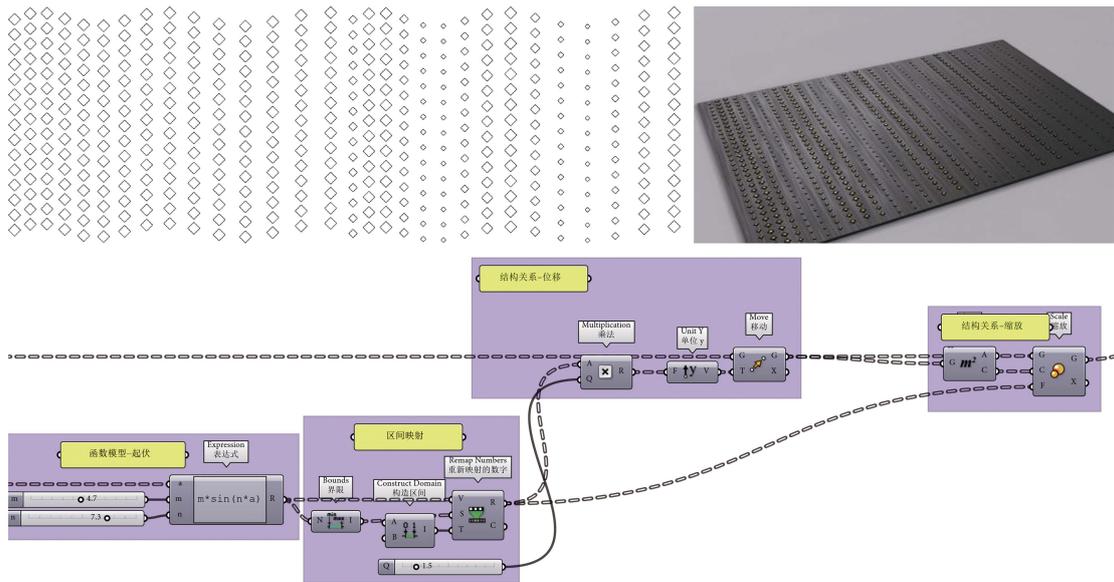


图 4 起伏韵律的参数化设计
Fig. 4 Parametric design of undulating rhythm

3.5.3 交替变化韵律的参数化实现

2 种或 2 种以上具有不同性质的肌理单元按一定规律交织穿插, 可以形成交替变换、抑扬顿挫、富有动感的视觉形态。由于某个肌理单元的替换只存在“0”或“1”2 种可能, 当肌理被替换时记录为 0, 不被替换为 1。将 2 种肌理单元四边形与圆形按照一定的周期进行替换, 替换规则为每 3 个四边形肌理单元替换 1 个圆形单元, 因此 2 种肌理单元分别对应 2 个替换韵律, 将四边形肌理单元的序列作为该四边形肌理单元的特征属性的数据矩阵为 A_1 , 本案例给定的四边形肌理单元函数模型是周期为 3 的周期函数 $f_1 = [1 \ 1 \ 0 \ \dots]$, 相对应的圆形肌理单元特征属性为

A_2 , 对应函数为 $f_2 = [0 \ 0 \ 1 \ \dots]$, 该肌理的参数化设计函数关系为 $y = W_1(X_{\text{渐变韵律}}) + W_2(X_{\text{起伏韵律}}) + W_3(X_{\text{替换韵律}})$, W_3 为替换结构关系, 则四边形、圆形肌理的对应的韵律量化的数据矩阵分别为

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & \dots \\ 1 & 1 & 0 & \dots \\ 1 & 1 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}。借助 Grasshopper$$

插件中的 Cull pattern 电池 (Cull pattern 电池识别 1 时保留对应序列的肌理单元, 识别数据 1 时删除对应序列的肌理单元), 根据参数值对肌理单元进行删减、替换, 见图 5。

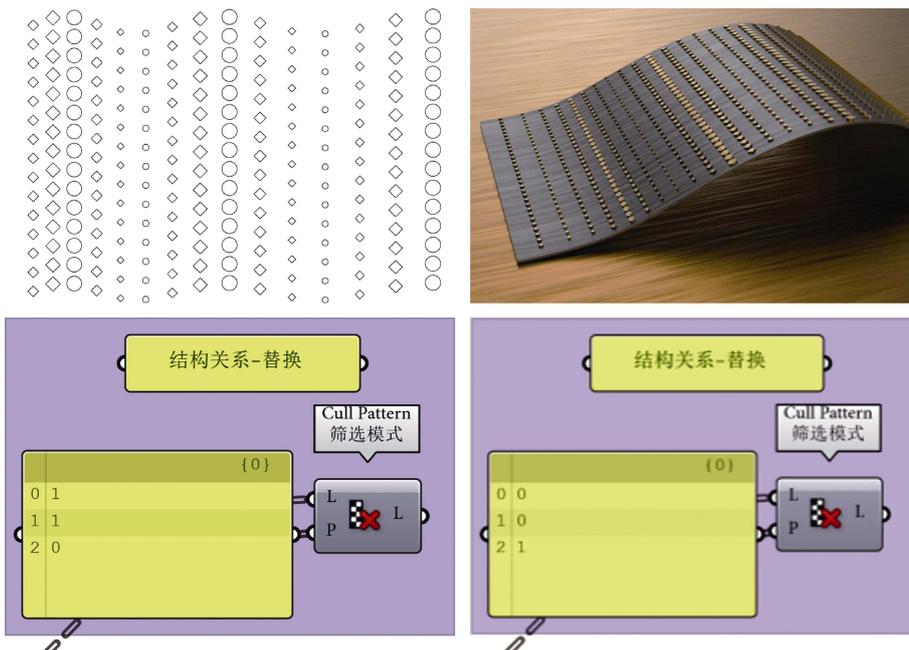


图 5 替换韵律的参数化设计
Fig.5 Parametric design of alternative prosody

3.5.4 肌理韵律的其他深度开发方法

提取肌理单元的肌理特征属性获得数据矩阵,将其作为自变量通过肌理韵律的函数模型获得具有韵律特征的数据矩阵是参数化肌理设计的关键。但存在单一函数模型无法表达的结构关系中存在的复合韵律,往往需要用复数函数来表现肌理韵律。即 $X =$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{j1} & a_{j2} & \cdots & a_{jk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{i1} \\ f_{i2} \\ \cdots \\ f_{ij} \end{bmatrix}$$

, 因此需要对肌理单元的数据矩阵进行分支,以完成对肌理函数模型的赋值。通过 Grasshopper 自带插件可以对数据矩阵进行编辑加工来丰富肌理的层次,替换韵律的参数化设计见图 6。肌理的位移结构关系中存在 2 种起伏韵律,将数据矩阵 A 的单、偶数行分支作为新的数据矩阵即 $A=A_1+$

$$A_2, A_1 \text{ 为奇数行即 } \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{31} & a_{32} & \cdots & a_{3k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{j-11} & a_{j-12} & \cdots & a_{j-1k} \end{bmatrix}, A_2 \text{ 为偶数}$$

行即 $\begin{bmatrix} a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ a_{41} & a_{42} & \cdots & a_{4k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{j1} & a_{j2} & \cdots & a_{jk} \end{bmatrix}$, 对奇数行数据矩阵赋予 $y =$

$\cos(a_1)$ 函数模型,偶数行矩阵赋予 $y = \sin(a_2)$ 函数模型,则肌理单元在排列过渡形式中同时表现出具有 2 种

起伏的复合韵律,即 $X = \cos \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{31} & a_{32} & \cdots & a_{3k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{j-11} & a_{j-12} & \cdots & a_{j-1k} \end{bmatrix} +$

$\sin \begin{bmatrix} a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ a_{41} & a_{42} & \cdots & a_{4k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{j1} & a_{j2} & \cdots & a_{jk} \end{bmatrix}$ 。Grasshopper 自由编辑能够对

肌理单元数据矩阵进行复合韵律表达,使肌理在参数化设计中更有创造力和表现力。同时借由 Grasshopper 的参数化设计,可以将数学函数中诸多优美、富含变化的非线性方程作为肌理变化的韵律表现出来,丰富肌理的韵律形式,从传统重复、渐变的单一韵律形式走向更广的空间。

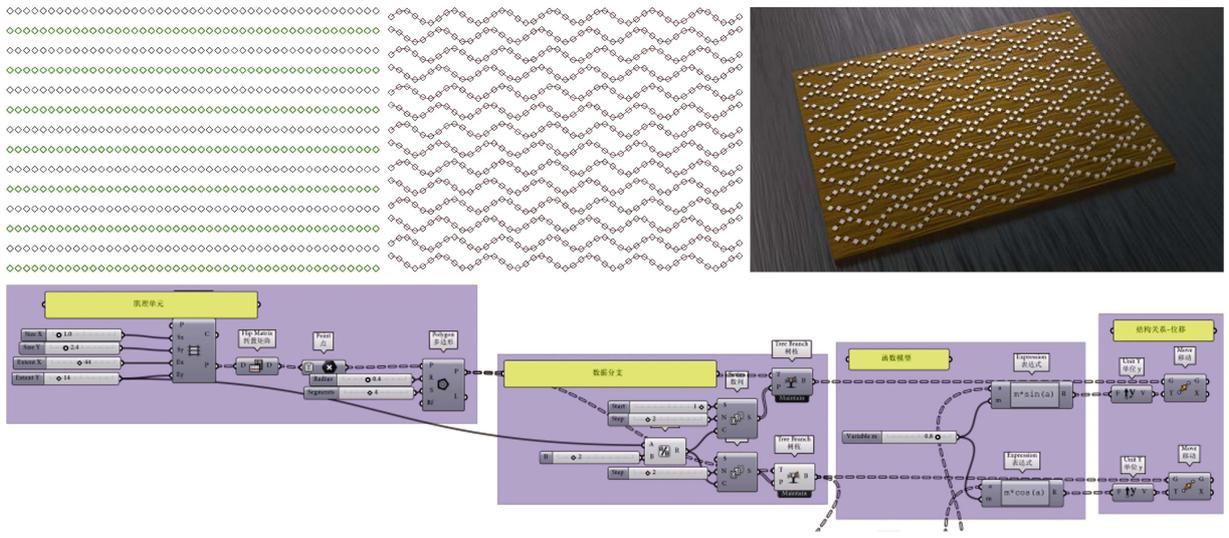


图 6 替换韵律的参数化设计
Fig.6 Parametric realization of composite prosody

除此之外, Grasshopper 中自带 Graph Mapper 电池,可以自身定义非线性函数模型,产生独特的韵律形式。

3.6 肌理韵律参数化平台搭建

3.6.1 肌理韵律参数化设计框架搭建

基于韵律法则的肌理参数化设计,重复韵律是其最基本的基础韵律。要想搭建肌理韵律参数化平台,需要将重复韵律作为肌理参数化设计的基础韵律形式。首先对输入的肌理单元进行阵列而自动生成肌理,韵律函数功能区采集肌理的数据矩阵,并将其转

化为参数化数据结构,根据用户设计需求(韵律形式)输入对应的函数模型,赋值生成具有相应肌理韵律的肌理。针对生成的肌理判断是否满足设计需求,若满足,则输出参数化肌理,若不满足则进行下一个循环,输入新的函数模型,肌理韵律参数化设计框架见图 7。

3.6.2 相关功能电池封装

根据设计框架对实现各个功能的电池组进行封装,见图 8。封装肌理原型模组具有将肌理单元生成肌理的功能,具体可分为环形阵列与线形阵列肌理模组,并可通过各个端口实现对肌理大小及单元之间的

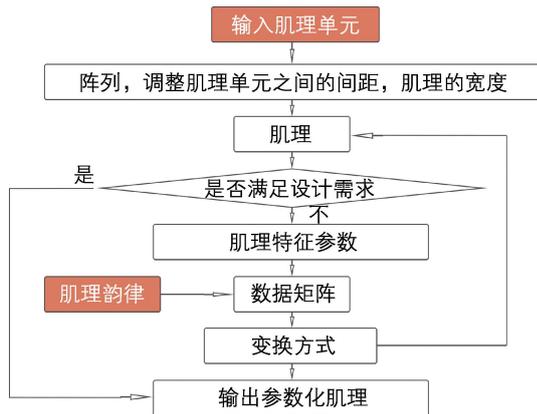


图 7 肌理韵律参数化设计框架
Fig.7 Parametric design framework of texture rhythm

距离的控制。韵律函数模组中 F 为可接入预设函数模型或自定义函数的输入端口, a 为肌理单元数据矩阵的输入端, k 、 m 、 n 为各个函数的系数端口。结构关系模组分为旋转, 位移、缩放等模组。

为检测模组的有效性, 根据肌理参数化设计框架搭建设计流程来检验封装模组功能。通过输入肌理单元, 将 x 、 y 轴旋转的结构关系赋予 $y=90*a$ 的韵律函数, 生成结果见图 9, 符合预期, 封装模组可以运算且设计框架表达准确。

3.6.3 肌理参数化设计平台

基于设计框架对参数化肌理平台进行界面设计, 见图 10。界面分为 3 个部分: 肌理窗口、韵律窗口、

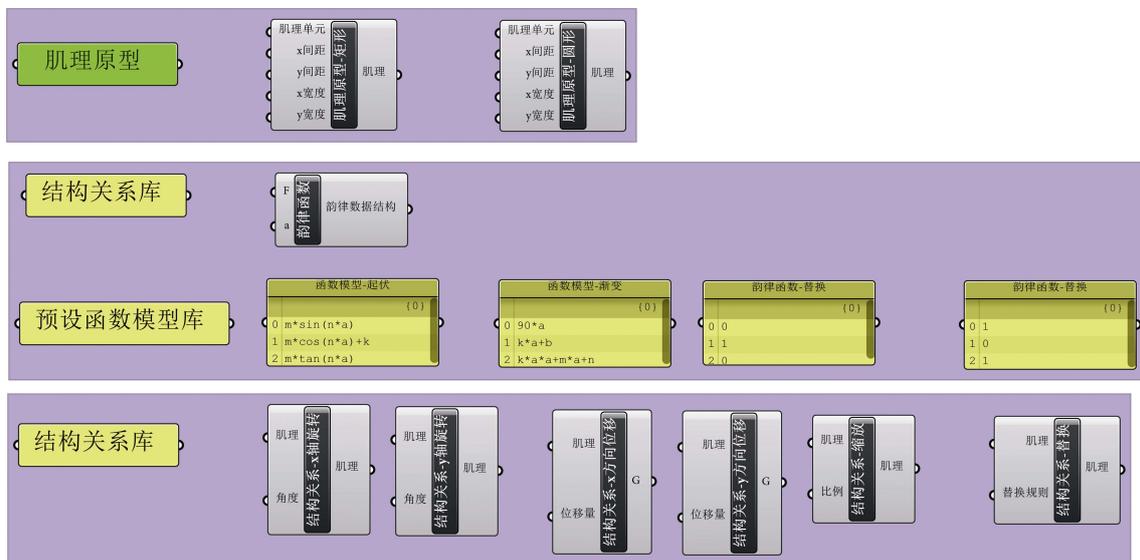


图 8 参数化电池模组封装
Fig.8 Parametric battery module package

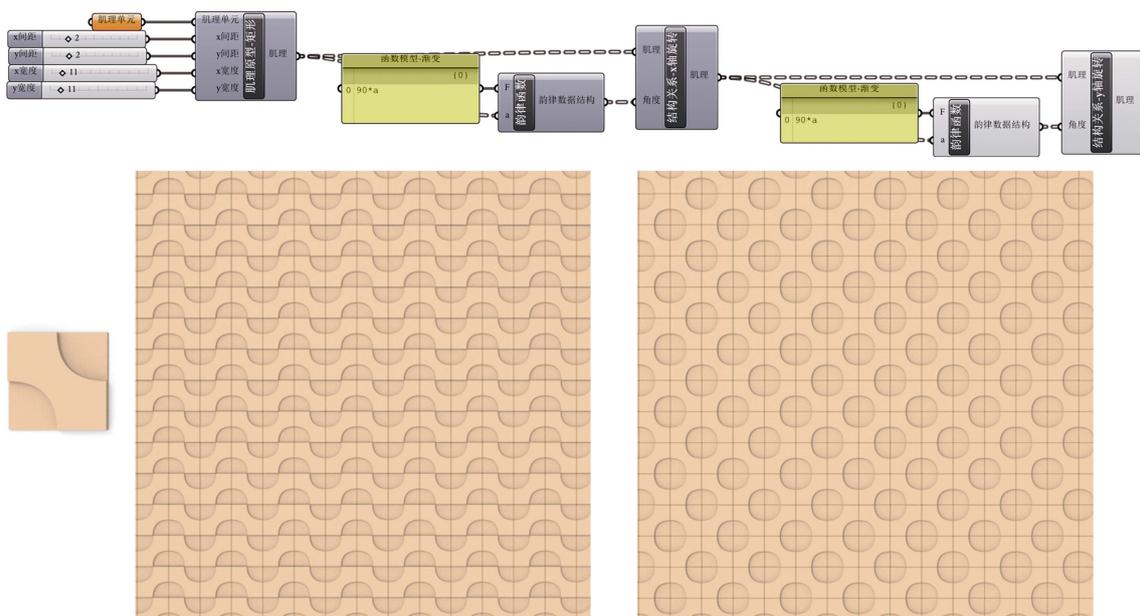


图 9 参数化电池模组检测
Fig.9 Parametric battery module detection

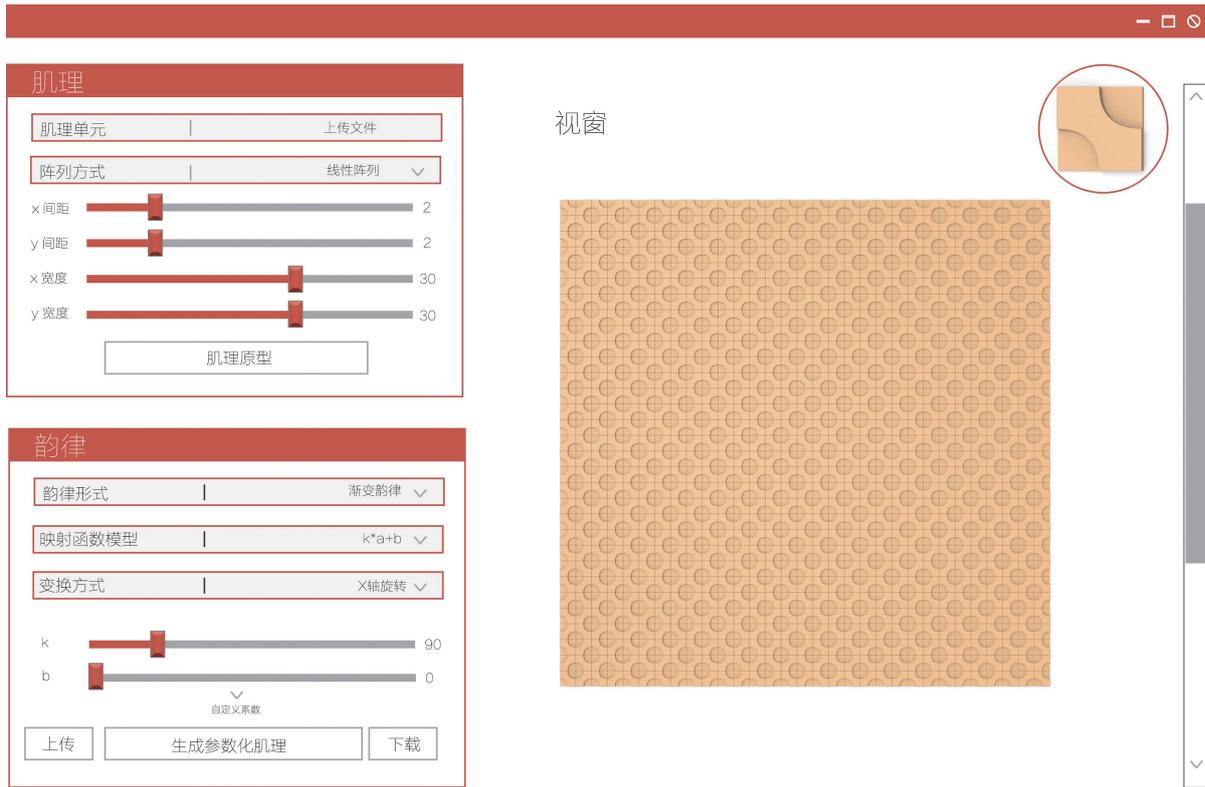


图 10 肌理参数化设计平台
Fig.10 Texture parametric design platform

视图窗口。肌理窗口对应肌理原型模组，可以对肌理基本参数进行调节。韵律窗口可以对肌理韵律编辑及输出的结构关系进行选择，并将输出结果作为新的肌理原型进行再设计，视图窗口可以实时观察肌理形态。

4 结语

通过建立肌理韵律设计的参数化方法与模型，将肌理设计中的韵律构成由定性表现转化为定量设计，让存在于设计师脑海中的个人经验和内在思维以具体的数据逻辑形式直观、清晰地呈现出来，肌理设计将会更加有理有据，实现对肌理韵律的参数化表达，并以此指导产品的肌理设计，艺术韵律与数学函数的相互碰撞也将有效提升肌理设计的系统性、适应性与合理性。同时肌理单元自身属性的数据结构具有开放性、多元性、可编辑性，设计师可以根据自己的设计意图对数据结构进行编辑，让肌理单一形式中具有复合肌理韵律的变化，肌理设计的修改、完善、迭代也更加便利，从而减少设计师大量重复的工作，使其将设计中心转移到对肌理韵律的本质挖掘与表达中，解放设计师在传统肌理设计中的思想束缚。

参数化设计结合肌理设计，是现代肌理设计的新趋势，肌理的参数化有助于满足如今多变、复杂、个性化的设计需求，在风格、形态等各个方面都给肌理设计带来深远的影响，具有一定的前瞻性和开放性，

同时可以促进多学科交叉融合，推动肌理韵律的全面升级，基于肌理韵律的参数化设计突破了肌理设计的上限，将肌理设计从量变上升到质变。

参考文献：

- [1] 左恒峰. 设计艺术中 CMF 的创意策略与方法[J]. 南京艺术学院学报(美术与设计), 2018(1): 193-200.
ZUO Heng-feng. Creative Strategies and Methods of CMF in Design Art[J]. Journal of Nanjing University of The Arts (Fine Arts and Design), 2018(1): 193-200.
- [2] JEROME K, JANNIK R, ECKHARD K. Integrated Design Pattern Matrix for Additive Manufacturing - A Holistic Potential Analysis for Systemic Product and Production Engineering[J]. Procedia CIRP, 2019(7): 84.
- [3] 胡辉, 胡书可. 解析计算机图形技术与包装设计的关系[J]. 包装工程, 2010, 31(12): 133-135.
HU Hui, HU Shu-ke Analyze the Relationship between Computer Graphics Technology and Packaging Design[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(12): 133-135.
- [4] 严褒. 基于虚拟现实技术的工业产品造型设计[J]. 现代电子技术, 2019, 42(3): 184-186.
YAN Bao. Modeling Design of Industrial Products Based on Virtual Reality Technology[J]. Modern Electronic Technology, 2019, 42(3): 184-186.
- [5] 邓柯. 雕塑衣纹中的构成要素与韵律节奏[J]. 美苑,

- 2015(3): 102-109.
- DENG Ke. Elements and Rhythm in The Garment Pattern of Sculpture[J]. Meiyuan, 2015(3): 102-109.
- [6] 王玉, 李帅帅, 于颖. 面向增材制造的零件结构及工艺设计[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2020, 48(6): 869-879.
- WANG Yu, LI Shuai-shuai, YU Ying. Part Structure and Process Design for Additive Manufacturing[J]. Journal of Tongji University (Natural Science Edition), 2020, 48(6): 869-879.
- [7] 肖人彬, 林文广. 数据驱动的产品族设计研究[J]. 机械设计, 2020, 37(6): 1-10.
- XIAO Ren-bin, LIN Wen-guang. Research on Data-driven Product Family Design[J]. Mechanical design, 2020, 37(6): 1-10.
- [8] MAFARJA M, ALJARAH I, HEIDARI A A, et al. Evolutionary Population Dynamics and Grasshopper Optimization Approaches for Feature Selection Problems[J]. 2018, 145(4): 25-45.
- [9] 余晓宝. 数字形态的肌理研究[J]. 艺术百家, 2005(4): 139-140.
- YU Xiao-bao. Research on the Texture of Digital Form [J]. Art Hundred Schools, 2005(4): 139-140.
- [10] 王淋, 何坤金, 陈正鸣, 等. 基于特征点映射关系的接骨板系列化设计方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2016, 28(9): 1587-1597.
- WANG Lin, HE Kun-jin, CHEN Zheng-ming, et al. Serial Design Method of Bone Plate Based on Feature Point Mapping[J]. Journal of Computer Aided Design and Graphics 2016, 28(9): 1587-1597.
- [11] 王柳庄. 参数化技术对产品的影响探讨[J]. 包装工程, 2016, 37(16): 10-13.
- WANG Liu-zhuang. Discussion on the Influence of Parameterization Technology on Product Design[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(16): 10-13.
- [12] 吴春茂, 高天, 孟怡辰. 基于积极体验的参数化产品设计模型[J]. 包装工程, 2021, 42(6): 142-150.
- WU Chun-mao, GAO Tian, MENG Yi-chen. The Parametric Design Model Based on Positive Experience[J]. Packaging engineering, 2021, 42(6): 142-150.
- [13] 颜波, 褚学宁, 张磊. 结构方程模型与人工神经网络结合的用户感知建模方法[J]. 上海交通大学学报, 2019, 53(7): 830-837.
- YAN Bo, CHU Xue-ning, ZHANG Lei. User Perception Modeling Method Combined with Structural Equation Model and Artificial Neural Network[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2019, 53(7): 830-837.
- [14] 包瑞清. 参数化逻辑构建过程[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2015.
- BAO Rui-qing. Parameterized Logic Construction Process [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 2015.
- [15] 牛一凡. BIM 参数化设计技术在异形建筑工程中的应用[J]. 价值工程, 2019, 38(14): 160-162.
- NIU Yi-fan. Application of BIM Parametric Design Technology in Special-Shaped Building Engineering[J]. Value Engineering, 2019, 38(14): 160-162.