

# 基于眼动技术的牡丹纹样意象元素识别方法研究

朱叶骏, 吴剑锋, 高凌云, 乔晓玲

(浙江工业大学, 杭州 310023)

**摘要:** **目的** 针对目前传统文化意象和现代产品设计之间匹配关系模糊、意象风格难以统一的问题, 通过识别传统纹样中表征意象的图像元素, 将其应用并服务于现代设计行业。**方法** 以宋代牡丹纹样的描述词汇为样本, 采用多维尺度法归纳出意象维度, 根据语义差异法完成对纹样的意象分类; 基于眼动跟踪技术得到各意象维度下的注视数据, 采用均值漂移算法聚类出具有意象代表性的纹样元素并量化其表征度。**结果** 得到高雅、祥瑞、素雅、柔润、灵动和精致 6 个意象维度下的纹样意象元素, 并计算得出代表该意象元素在牡丹纹样意象中的贡献程度指标——表征度。**结论** 实验表明该方法具有可重复性和可行性, 识别结果表现出了一定的意象内涵和应用价值, 可为传统文化再设计提供参考思路。

**关键词:** 传统纹样; 多维尺度; 眼动跟踪; 均值漂移; 意象识别

**中图分类号:** J511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)12-0208-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.12.028

## Imagery Element Recognition Method of Peony Pattern Based on Eye Movement Technology

ZHU Ye-jun, WU Jian-feng, GAO Ling-yun, QIAO Xiao-ling

(Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

**ABSTRACT:** There is a problem that it is difficult to match and unify the imagery and style between traditional cultural patterns and modern design. This paper aims to serve design industry by extracting elements of traditional patterns with significant imagery connotation. Firstly, based on the qualifiers of the peony patterns in the Song Dynasty, the image dimensions were summarized using multidimensional scale analysis, and the classification of patterns according to semantic differential method was completed. Secondly, the eye tracking technology was used to obtain the gazing data in each dimension, and the mean shift algorithm was applied to extract the imagery areas of interest. Finally, the quantitative representation of the pattern elements was calculated and sorted. Imagery elements in six image dimensions of elegance, exquisiteness, agility, softness, simplicity, and auspiciousness are obtained, and the representation degree, which represents the contribution degree of the imagery elements in the peony pattern imagery, is calculated. Experiments indicate that the method is repeatable and feasible. The results have certain imagery meaning and application value, which could provide reference for the re-design of traditional culture.

**KEY WORDS:** traditional pattern; multidimensional scale; eye movement data; mean shift; imagery recognition

随着社会的发展, 大众审美也在不断改变, 体现传统内涵的地域性设计已经很难满足现代人的需求, 传统文化的再设计成为当下新兴趋势。传统文化除了需要博物馆式的保护以外, 更应与时俱进, 剔除糟粕,

融入现代设计中去, 在世界舞台上展示中华民族的文化精髓。现代设计已经开始重视传统元素在产品设计中的作用, 但大多数产品对传统意象符号的运用还比较粗浅, 主要依靠设计师个人的感性直觉和经验体

收稿日期: 2021-03-15

基金项目: 浙江工业大学专业核心课程建设项目 (HC201806); 浙江工业大学创新性实验项目 (PX-68182106)

作者简介: 朱叶骏 (1990—), 男, 浙江人, 浙江工业大学博士生, 主要研究方向为智能设计、用户研究。

通信作者: 吴剑锋 (1976—), 男, 吉林人, 博士, 浙江工业大学副教授, 主要研究方向为创新设计技术、交互设计。

悟，传统意象的元素识别成为传统文化再设计的一个瓶颈。纹样作为一种传统文化意象的典型载体，在人们的社会活动中担任着传播文化的重要使命。宋代牡丹纹样，形态多样、造型自由，各种组合寓意十分丰富，整体表现出富丽生动、大气丰盈的艺术风格，影响至今。牡丹为落叶灌木，植株高 1~2 m，其枝分枝粗短，枝条挺拔有律，整洁美观；其叶通常为二回三出羽状复叶，互生，俗称“三杈九顶”<sup>[1]</sup>。牡丹不仅外表华丽，而且蕴含了深厚的文化内涵，牡丹纹装饰被广泛应用于金银器、铜镜、陶瓷及织物上。传统文化符号作为一种民族精神内核的外显化表示，如何恰当合理地运用在现代设计中，一直是学者高度关注的研究内容<sup>[2]</sup>。

目前国内外对纹样识别的研究对象很丰富，包含形状、色彩、风格和意象等各类特征，但在研究方向上趋于两类：基于大数据样本训练的图像分割机器学习算法和以用户体验、认知意象等调研数据为基础的主观识别方法<sup>[3]</sup>，并且两者研究方法存在很大的差异性。分割算法主要关注纹样自身特征，如纹理、边缘轮廓和色彩空间等<sup>[4]</sup>，借由机器学习算法的提取作用和高效性能，完成纹样部件提取和基元分类等研究，其纹理计算效率高，处理过程稳定，但解释性较弱。以用户为中心的纹样识别方法则围绕着如何有效、稳定地识别满足用户主观偏好的纹样特征和区域，实现纹样及其单元的意象分类和重建<sup>[5-6]</sup>，主要涉及美学计算和感性工学，其结果受到样本空间和主观方法的综合影响，有一定程度的不确定性，但意义解释性和意象价值满足应用要求。针对以上研究现状，本文提出一种改进的意象元素识别方法，通过 MDS 模型和均值漂移算法，优化主观识别的分析过程，配合眼动实验的客观数据采集方法，结合算法模型的稳定性和实验采集的准确性优势，保证该方法的稳定性和高效性，有一定的参考价值。

## 1 研究内容

人们通过对客体的接触了解后，在头脑中会对其产生相关的印象，这种认知主体对于客观事物形成的印象即是感性意象认知，并且常以形容词对它进行描述。本研究以意象词汇和牡丹纹样为样本来源，运用多维尺度法和语义差异法分析用户的主观评价数据，构建牡丹纹样的意象分类体系；利用眼动实验技术采集用户注视类指标，基于均值漂移算法和表征度公式，聚类出意象区域并计算其表征度，形成牡丹纹样的意象元素排序，纹样意象元素识别方法见图 1。

## 2 牡丹纹样意象分类

意象词汇的收集采用焦点小组方法，选择受过专业训练的主持人，可以引导被试以轻松状态进入焦点

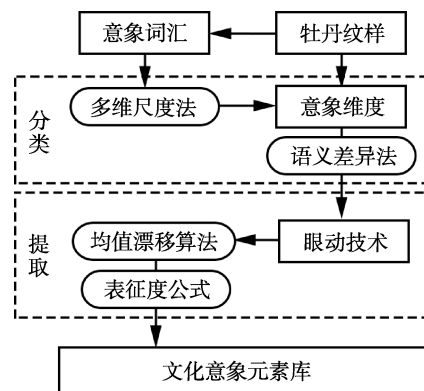


图 1 纹样意象元素识别方法

Fig.1 The recognition method of pattern imagery element

小组。使用投影仪逐个播放 30 张选自《中国纹样全集》的牡丹图样，请被试者依照图样播放顺序用描述性语言写下对每个图案的认知；随后开始焦点小组讨论，针对得到的感性意象词汇进行深入的交流讨论，记录员记下被试讨论的口语材料，最后得到 30 个原始意象词汇。

### 2.1 多维尺度法

词汇意象维度的提取方法基于词汇相似性和多维尺度 (Multidimensional Scale, MDS) 理论，词汇相似性是指两个词汇概念间的共同和差异属性的量化程度<sup>[7]</sup>。在考虑被试个体偏差的基础上，采用多维尺度下的相似性可有效降低个体评价标准和审美观念的差异对于意象词汇分类的影响。通过计算 MDS 模型的最佳拟合维度，多维尺度法能较好地保证词汇分类的意象表达程度<sup>[8]</sup>。

词汇相似性评价的多维尺度分析首先需要确定数据空间的表达维度。实验邀请 10 位具有设计相关专业背景的高校教师，以 0 至 10 为区间评价 30 个词汇互相之间的相似程度，将数据整理成评价矩阵：

$$U_{ij} = (u_{ij}) \tag{1}$$

将评价矩阵导入 SPSS 24.0，选用多维标度分析 (ALSCAL) 并考虑个体差异的 MDS 模型拟合，通过评价矩阵转化，得到距离矩阵：

$$D_{ij} = (d_{ij}) = \sqrt{(u_{ii} + u_{jj} - 2u_{ij})} \tag{2}$$

将式(2)映射入  $k(2-6)$  维空间拟合形成  $n*k$  点阵  $X$ ，可得  $X$  中对应的距离矩阵：

$$\hat{D}_{ij} = (\hat{d}_{ij}) \tag{3}$$

持续迭代  $d_{ij}^*$  使得式(4)中  $S^2(\hat{X})$  (S 应力收敛值) 达到值定值，一般为 0.001，迭代次数在 30 次左右：

$$S^2(\hat{X}) = \frac{\min \sum_{ipj} (d_{ij}^* - \hat{d}_{ij})^2}{\sum_{ipj} d_{ij}^2} \tag{4}$$

若  $k$  为固定值，此时极小值对应的矩阵  $\hat{X}_0$  为最佳拟合点， $S_k$  为压力指数 (Stress)，Stress 值越小表

明模型拟合越好，一般认为 Stress 值低于 0.100 表示普通拟合，低于 0.05 则拟合较好。RSQ 为拟合优度指标，百分比越接近 1，表示拟合程度越高。意象词汇在各个维度下 MDS 模型的拟合情况，见表 1，可知在六维空间中 MDS 模型能够较好地表达词汇间的相似关系。

意象词汇的系统聚类过程以词汇在六维空间中的坐标为变量，以欧氏距离为计算指标，通过逐步将距离较近的个体合并为一类，直至形成一类为止<sup>[9]</sup>。通过 SPSS 系统聚类分析可知，6 个分类维度的意象表示空间具有较好的分类特性。意象词汇聚类迭代树状图见图 2，图 2 中阴影区域的分类数量接近要求，迭代次数为 18 次时，素雅和柔润 2 个分类尚未合并；迭代次数为 19 次时，分别为高雅、祥瑞、圆满、素雅、灵动和精致 6 个类别；迭代次数为 20 次时，祥瑞和圆满 2 个类别合并，剩 5 个类别。

结合词汇聚类树状图的收敛特征，采用第 20 次祥瑞和圆满的合并类替代素雅和柔润的合并类，6 个纹样意象维度分别选取一个代表性词汇来描述其纹样意象，意象词汇分类和释义见表 2。从收敛角度看，高雅和祥瑞、素雅和柔润、灵动和精致之间的意象语义更为接近，并且这 3 类词汇之间有较为明显的语义区分。高雅、祥瑞、素雅和柔润 4 个类别都强调纹样整体的认知意象，但灵动和精致类别则强调纹样局部细节的装饰表达，后 2 个类别在一定程度上反映了纹样灵活、自然、不受拘束的形态设计特征。

### 2.2 语义差异法

实验选取宋代牡丹纹样作为研究对象，共采集到 46 个不同的纹样样本，根据明度、清晰度及相似性等指标进行筛选，得到 30 个样本，实验所用纹样均

用简化黑白线框图表示，以避免灰度与颜色干扰被试对纹样语义的认知理解。被试者为 20 名具有一定审美和知识水平的具有艺术专业相关背景学生，其中 10 位男性，10 位女性，被试者裸眼视力或矫正视力正常，均无认知及表达障碍。

根据语义差异法，由 20 位被试对采集到的 30 个牡丹纹样在 6 个意象维度下打分，采用 5 分制李克特量表打分，1 分表示纹样完全没有表现出词汇意象，5 分表示纹样充分表现出词汇意象。计算每个纹样在对应意象维度下的平均值，将大于 4 分的牡丹纹样选为典型样本，见表 3。

### 3 意象元素眼动识别

由眼动技术记录的用户浏览轨迹和视线注视点，可以反映用户观察图片时的心理信息，能够为传统文化符号意象内涵的识别与映射提供有力的技术支持<sup>[10]</sup>。

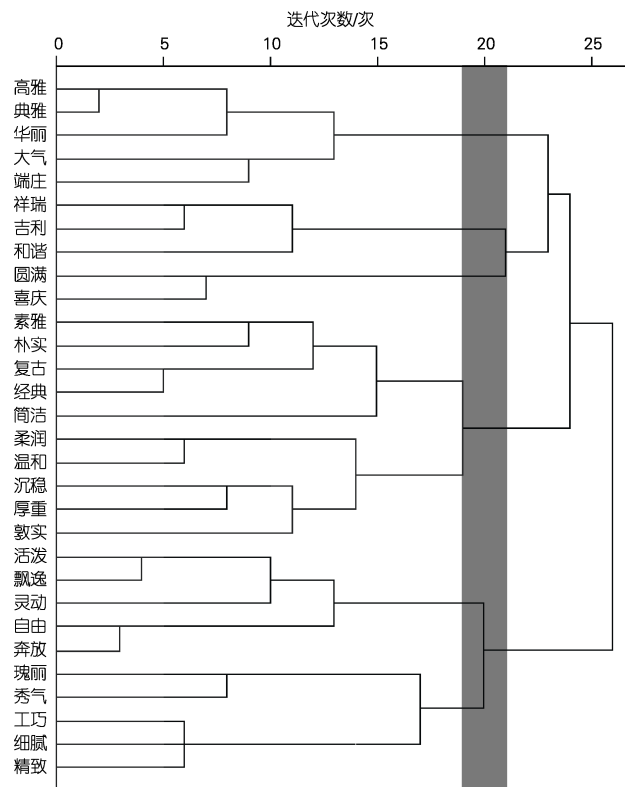


图 2 意象词汇聚类迭代树状图  
Fig.2 Iterative clustering of imagery vocabulary

表 1 MDS 模型词汇拟合指标  
Tab.1 Vocabulary fit indicators for MDS model

维度	Stress 拟合劣度指标	RSQ 拟合优度指标
二维	0.105 48	0.970 35
三维	0.082 55	0.963 52
四维	0.061 02	0.969 70
五维	0.049 28	0.965 22
六维	0.026 44	0.972 06

表 2 意象词汇分类和释义  
Tab.2 Classification and Interpretation of imagery vocabulary

维度	代表性词汇	组内词汇	释义
类别 1	高雅	典雅 华丽 大气 端庄	高尚不浅俗、端正庄重、富丽堂皇、豪华美丽
类别 2	祥瑞	吉利 和谐 圆满 喜庆	和睦协调、吉祥如意、太平和美、喜气洋洋
类别 3	素雅	朴实 复古 经典 简洁	质朴诚实、怀旧典范、素泽雅致、简明扼要
类别 4	柔润	温和 沉稳 厚重 敦实	深沉稳重、敦厚稳实、柔和润泽、丰富贵重
类别 5	灵动	活泼 飘逸 自由 奔放	灵活不呆板、洒脱自然、不受拘束、自由放任
类别 6	精致	细腻 瑰丽 秀气 工巧	精巧细致、繁复华美、巧夺天工、奇特绚丽

表 3 6 个意象维度的典型纹样  
Tab.3 Typical patterns of six imagery dimensions

高雅	精致	灵动	柔润	素雅	祥瑞

### 3.1 眼动实验设计

#### 3.1.1 实验设备

Tobii 的 X2-60 型眼动仪 (眼动跟踪采样频率设置为 60 Hz), 实验样本显示在 11.6 英寸的笔记本显示屏上, 显示屏分辨率为 1366 像素×768 像素, 显示屏距离被试者距离为 50~60 cm, 精度为 0.4° 视角。

#### 3.1.2 实验样本

上文中得到的各意象维度下的 18 张牡丹典型纹样的黑白框图, 大小基本一致。20 名被试者, 均为艺术类专业硕士学历, 男性 9 名, 女性 11 名, 被试视力或者矫正视力正常, 无眼部疾病。未参与牡丹纹样文化元素典型形象的语义差异法实验, 并明确了解文化意象的相关含义。

#### 3.1.3 实验过程

被试者依次观看 6 个意象维度下共 18 张牡丹典型纹样, 寻找最符合该意象词的区域并持续观看。每张图片持续显示 8 s。每幅实验纹样之间有 3 s 的空白页显示时间, 让被试放松双眼。

### 3.2 眼动分析识别

#### 3.2.1 均值漂移聚类

意象元素识别方法建立在均值漂移聚类算法的基础上, 鉴于眼动数据低维离散的特点, 区域密度聚类相较于样本距离聚类具有较高的稳定性, 不需要聚类中心的数目前提, 并且对异常值有较强抗性, 对同一样本数据具有结果一致性 (随机性低)。意象元素聚类的 3 个坐标轴, 分别为绝对平均注视点  $x_i(mm)$ 、绝对平均注视点  $y_i(mm)$  和实验时间  $t_i(ms)$ , 可将用户注视的实验数据格式记作  $X_i = (x_i, y_i, t_i)$ , 将  $N$  个注视点的数据集合记为  $\{X_j | j \in 1, 2, \dots, N\}$ , 均值漂移迭代

公式如下<sup>[11]</sup>:

$$S(X) = \frac{\sum_j^n (X - X_j) X_j}{\sum_j^n k(X - X_j)} \quad (5)$$

迭代初始条件为  $Y_j^0 = X_j$ , 收敛条件为  $Y_j^n = S(Y_j^{n-1})$ 。

其中  $k$  采用高斯核函数, 并引入  $\sigma_s$  和  $\sigma_t$  取代搜索窗口半径和带宽控制聚类区域的大小<sup>[12-13]</sup>:

$$k_{spatiotemporal}([x_i, y_i, t_i]) = \exp\left(-\frac{x_i^2 + y_i^2}{\sigma_s^2} - \frac{t_i^2}{\sigma_t^2}\right) \quad (6)$$

眼动实验所用显示器屏幕尺寸为 144 mm×256 mm, 纹样显示区域约为 80 mm<sup>2</sup>×80 mm<sup>2</sup>。  $\sigma_s$  是显示器平面的搜索窗口半径, 最小纹样面积尺寸是 30 mm<sup>2</sup>×80 mm<sup>2</sup>, 故取  $\sigma_s = 5mm$ ;  $\sigma_t$  为时间轴窗口尺度, 用于区分不同时段对同一兴趣区的注视情况, 实验中纹样的平均注视时长为 0.284 4 s, 取  $\sigma_t = \frac{1}{3}(s)$ 。一位被试的 8 s 眼动数据包含约 400 个采集点, 将单个纹样的 8 位被试者数据整合在矩阵内完成迭代过程, 算法将样本点沿搜索窗口空间的均值最大方向漂移成一类, 以表 3 中高雅纹样的第一个典型纹样为例, Matlab 数据迭代过程, 见图 3。

#### 3.2.2 意象区域识别

样本空间内所有的点在迭代中, 会向搜索空间中密度最高方向漂移, 直至聚集成一个点 (聚类中心), 每个聚类中心相当于一个注视兴趣区域 (Area of Interest, AOI)。高雅纹样一的意象元素识别过程见图 4, 由于迭代收敛条件无法精确满足, 迭代次数的选取便是实验控制的关键指标, 考虑到纹样构成的基本元素个数范围为 6~12 个, 实验控制在得到 10 个聚类中心后终止迭代, 迭代平均次数在 500 左右, 将同一聚类中心的样本点范围用置信椭球 (取 95%) 表示, 得到图 4a 中的 11 个意象元素空间。

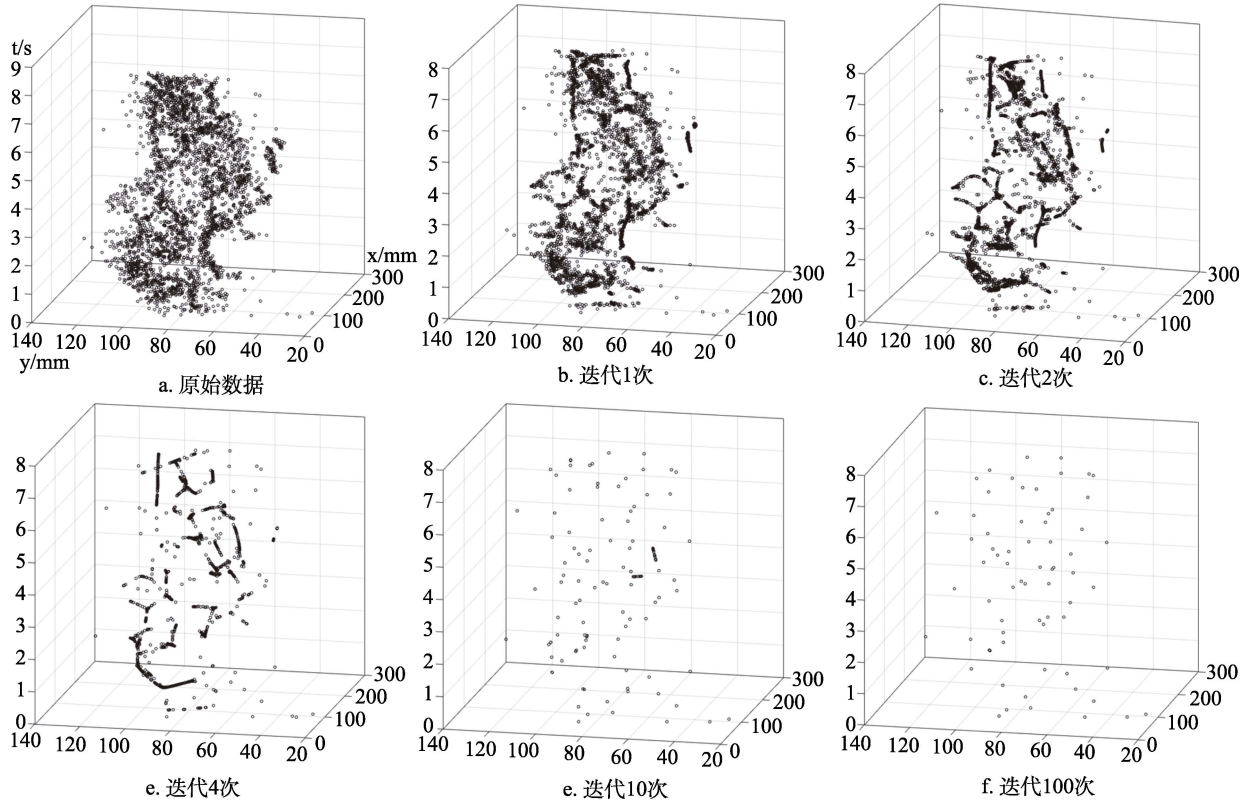


图3 高雅纹样一的均值漂移迭代过程

Fig.3 Mean-shift iterative process of elegant pattern one

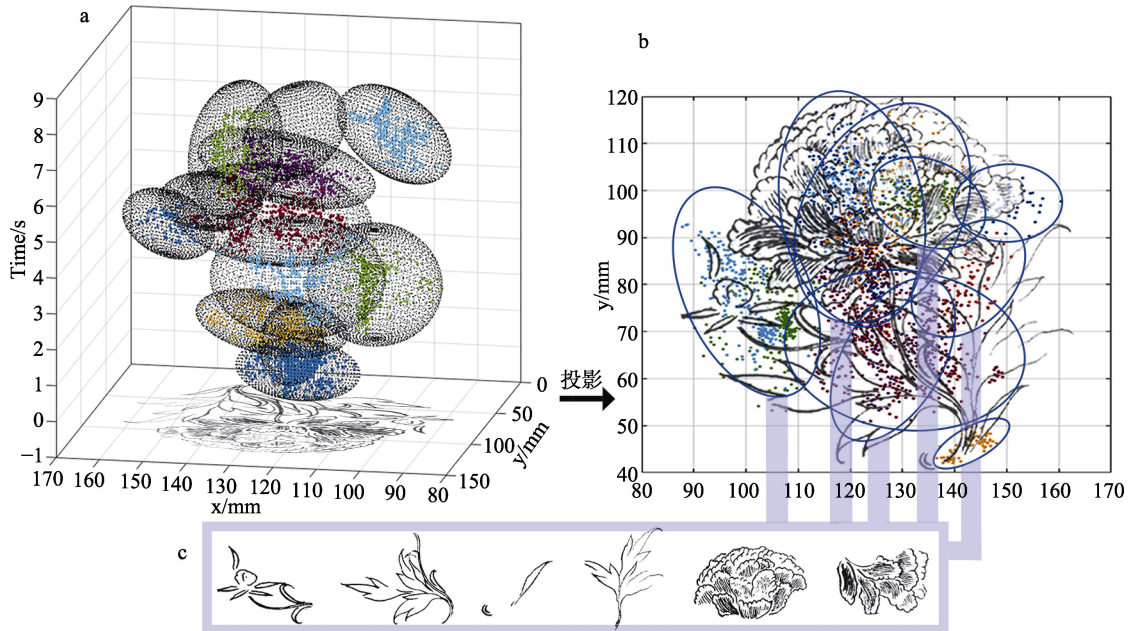


图4 高雅纹样一的意象元素识别过程

Fig.4 Imagery element recognition process of elegant pattern one

意象元素的主体分布在置信椭球内部,将椭球投影到二维平面并筛选不存在的纹样或重复标记的意象区域后,得到图4b中的9个包含意象元素的纹样区域,此时纹样区域内所标记的内容定为意象元素。由图4c可知,部分意象元素的分布和范围存在较为明显的重叠现象,在保证意象元素相互独立且不包含

的条件下,整理形成高雅纹样一的意象元素集合。

### 3.2.3 意象元素表征

实验使用 Tobii Studio 软件采集关于意象元素的注视次数、平均注视时间和注视人数等被试数据,通过结合词汇的主观表征与眼动实验中被试的客观表

征, 构造意象表征度公式, 分析意象元素间所包含的意象信息的相对比重, 意象元素  $W_i$  相对于特定词汇的意象表征度  $D_i$  定义为:

$$D_i = L \times \left( \frac{F_i T_i}{\bar{F} \bar{T}} \right) \times 100\% \quad (7)$$

纹样(即意象元素集合)表示为  $\{W_i | i \in 1, 2, \dots, n\}$ ,  $L$  为意象维度分类的量表评分, 即整体意象表征度;  $F_i$  为意象元素的平均注视密度;  $T_i$  为意象元素平均注视时间;  $\bar{F}$  为纹样平均注视密度;  $\bar{T}$  为纹样平均注视时长。式(8)中  $F_i$ 、 $\bar{F}$  和  $\bar{T}$  定义为:

$$F_i = \frac{t_i}{r_i S_i}, \bar{F} = \frac{\sum t_i / r_i}{s}, \bar{T} = \frac{\sum T_i t_i}{\sum t_i} \quad (8)$$

其中,  $S_i$  为意象元素面积, 通过对纹样的灰度图进行像素点计算得到;  $t_i$  和  $r_i$  分别为意象元素的注视次数和注视人数。通过式(7)可得知,  $D_i$  越大, 对特定意象的表征程度越高, 即该元素对纹样在某意象维度下的意象贡献度较高。6 个意象维度下牡丹纹样元素的表征度排序(前 5 名), 见表 4, 由表 4 可知不同维度的纹样意象元素的分数阈值跨度很大, 同一意象维度的纹样元素可以分为高于  $L$  和低于  $L$  两种情况, 前者表现出明显的意象内涵, 基本是排序前 3 名的意象元素, 并且以花的部分为主; 后者是稍低于纹样意象评分  $L$  的意象元素, 主要包含枝干和叶的部分。































### 4 结语

通过眼动识别采集到的牡丹纹样意象元素, 主要可分为花、叶和枝干 3 种。由牡丹纹样意象元素排序可知, 在牡丹纹样中, 对于高雅、精致和柔润意象而言, 花朵(包括花蕊)的意象表征度得分较高, 说明高雅和精致的意象普遍隐含在花朵的纹样元素中; 而在灵动、古朴和祥瑞意象中, 叶和枝干元素出现的比例超过了花朵, 说明叶和枝干元素在牡丹纹样中的表达具有这三者意象。实验结果说明: 牡丹纹样设计并不是单纯以花为主、以枝干和叶为装饰的叠加式构造方法, 叶和枝干在纹样意象表达中发挥着重要作用, 枝干和叶的组合排列方式可以直接影响到纹样整体意象的综合效果。

从现代设计的角度而言, 包含意象内涵的纹样元素具有一定的应用价值, 通过与产品载体之间的意象配合, 可以赋予或突出产品某一整体意象。构建关键意象的纹样元素库, 通过调控产品意象元素的组合搭配, 设计行业能以更高效率衍生出新的设计方案。以产品设计为例, 单一色调、结构简单的产品形态可以被理解为一类不含特定意象内涵的产品载体, 虽然能满足用户的功能使用需求, 但是没有与之匹配的意象概念, 而融入高雅、柔润和古朴等意象元素的装饰图案或形态曲线能够赋予产品复古、大气和质朴的意象内涵; 当产品形态和装饰图案的设计配合能在意象层

表 4 牡丹纹样意象元素排序(前 5 名)

Tab.4 Peony pattern imagery elements sorting (top 5)

高雅	精致	灵动	柔润	古朴	祥瑞
 8.834	 7.787	 8.737	 4.957	 6.550	 7.062
 7.389	 6.255	 6.621	 4.652	 5.590	 5.926
 5.603	 6.241	 4.381	 4.096	 4.150	 4.607
 5.557	 6.128	 3.853	 3.909	 3.990	 4.086
 5.362	 5.872	 3.726	 3.824	 3.618	 3.778

面达到对立而统一, 则能强化产品的整体概念表达, 进一步凸显产品的核心文化价值。

感性意象的具象表达一直是产品设计不断探索和思考的内容, 将文化内涵通过图案装饰表达出来是传统文化再创造的关键步骤。本文通过结合主客观的技术手段, 尝试为传统意象找寻合适的表达载体, 得到了一些初步结论, 但还有很多值得深入研究的内容: 同类或不同类意象元素之间的表达关系有很大差异, 如叶子和花的意象表达模式就十分不同; 在意象区域的识别和分类过程中仍有不恰当之处, 如注视集中区域的意象元素识别难度较大, 尤其表现在花蕊、花瓣和花萼部分。

#### 参考文献:

- [1] 吴山. 中国纹样全集[M]. 济南: 山东美术出版社, 2010.  
WU Shan. Complete Work of Chinese Patterns[M]. Jinan: Shangdong Fine Arts Publishing House, 2010.
- [2] 徐娟芳. 传统服饰凤纹的文化构成及其典型度[J]. 纺织学报, 2013, 34(7): 137-142.  
XU Juan-fang. Cultural Constitution and Typical Degree of Phoenix Pattern on Traditional Dress Adornment[J]. Journal of Textile Research, 2013, 34(7): 137-142.
- [3] 高凌云. 传统文化符号的提炼和再设计应用研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2018.  
GAO Ling-yun. The Application Research of Redesign and Extract of Traditional Culture Symbol[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2018.
- [4] 李蓉娟. 包装物料形状特征提取和识别方法[J]. 包装工程, 2020, 41(5): 209-213.  
LI Rong-juan. Method of Shape Feature Extraction and Recognition of Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(5): 209-213.
- [5] 付成杰, 毕延刚, 沈学会. 基于感性工学的框架眼镜造型意象研究[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 269-275.  
FU Cheng-jie, BI Yan-gang, SHEN Xue-hui. The Shape Image of Frame Glasses Based on Kansei Engineering [J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 269-275.
- [6] DAO Ling-chen, PENG Peng-cheng. Kansei Engineering as a Tool for the Design of Traditional Pattern[J]. Autex Research Journal, 2019, 21(1): 1-5.
- [7] LEE A E, LIM Y A, KWON J. Classification of Emotional Vocabulary Based on Emoticon for Mobile SNS (Social Network Ser-vice) Messenger[J]. Journal of The Korean Society for Computer Game, 2018, 31(1): 37-44.
- [8] VIVEK S D. A Generalized Multidimensional Scale for Measuring Customer Engagement[J]. Journal of Marketing Theory and Practice, 2014, 22(4): 401-420.
- [9] COLEMAN J S. Multidimensional Scale Analysis[J]. American Journal of Sociology, 1957, 63(3): 253-263.
- [10] 康丽娟. 眼动实验在设计研究中的应用误区与前景: 基于国内研究现状的评述[J]. 装饰, 2017(8): 122-123.  
KANG Li-juan. Application Misunderstanding and Prospect of Eye Tracking Experiment in the Design Research: Review On Domestic Re-Searches[J]. Zhuangshi, 2017(8): 122-123.
- [11] GRILLENZONI C. Sequential Mean Shift Algorithms for Space: Time Point Data[J]. Environmental Earth Sciences, 2018, 77(9): 1-12.
- [12] RYOYA Y, TOSHIYUKI T. Properties of Mean Shift[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2019: 1.
- [13] SANTELLA, ANTHONY, DECARLO, et al. Robust Clustering of Eye Movement Recordings for Quantification of Visual Interest[C]. Denver: 2004 Symposium on Eye Tracking Research & Applications, 2004.