

# 基于可拓表征与神经网络的苗族图案设计<sup>①</sup>



岳迪, 吕健, 付倩文, 邹悦

(贵州大学 现代制造技术教育部重点实验室, 贵阳 550025)

通讯作者: 吕健, E-mail: 392119462@qq.com

**摘要:** 针对苗族图案的文化遗产及设计应用问题, 提出基于可拓表征和神经网络的民族图案创新设计方法, 对苗族蜡染图案进行解构、映射和重构. 首先对苗族蜡染图案进行可拓表征, 运用发散树法构建设计生长阶段模型对苗族图案基元进行拓展分析. 其次基于感性工学对苗族蜡染图案进行感性意象分析, 提出一种面向图案构型、纹样语义和种类的图案解构方法, 构建图案特征要素解构空间和情感意象认知空间. 运用神经网络构建感性预测模型根据用户意象偏好推荐图案构型等设计要素, 对设计思维进行收敛, 并与线性回归预测模型进行对比验证其优势性. 最后根据神经网络感性预测模型推荐的特征要素应用形状文法对苗族蜡染图案进行细化设计. 以苗族蜡染图案为例, 验证该方法的可行性, 为其他民族图案的解构及创新设计提供参考.

**关键词:** 感性工学; 可拓学; 图案设计; 神经网络; 线性回归

引用格式: 岳迪, 吕健, 付倩文, 邹悦. 基于可拓表征与神经网络的苗族图案设计. 计算机系统应用, 2021, 30(3): 234-242. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/7829.html>

## Miao Pattern Design Based on Extensional Representation and Neural Network

YUE Di, LYU Jian, FU Qian-Wen, ZOU Yue

(Key Laboratory of Advanced Manufacturing Technology, Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** With regard to the cultural inheritance and design application of Miao patterns, an innovative design method of ethnic patterns based on extensional representation and neural network is proposed to deconstruct, map, and reconstruct Miao batik patterns. Firstly, Miao batik patterns are characterized by extension, and the divergence tree is used to construct the design growth stage model to expand and analyze the elements of Miao patterns. Secondly, Miao batik patterns are analyzed with Kansei images based on Kansei engineering, proposing a pattern deconstruction method for pattern configuration, pattern semantics and types, with which the deconstructive space of pattern feature elements and the cognitive space of emotional images are constructed. The neural network is used to construct the Kansei prediction model that recommends design elements such as pattern configuration to users in terms of their preference, and the design thinking is converging. Its advantages are verified by the comparison with the linear regression prediction model. Finally, shape grammar is used to refine Miao batik patterns according to the characteristic elements recommended by the model. The method is verified feasible with Miao batik patterns and can provide a reference for the deconstruction and innovative design of other ethnic patterns.

**Key words:** Kansei engineering; extenics; pattern design; neural network; linear regression

① 基金项目: 国家自然科学基金 (51865004); 贵州省基金 ([2017]1046, [2017]2016, [2018]1049, YJSCXJH(2018)088)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (51865004); Fund of Guizhou Province ([2017]1046, [2017]2016, [2018]1049, YJSCXJH(2018)088)

收稿时间: 2020-07-15; 修改时间: 2020-08-13; 采用时间: 2020-08-25; csa 在线出版时间: 2021-03-03

传统民族图案是我国灿烂丰富的民族文化遗产,具有很高的文化价值和审美价值.传统的苗族图案设计受制于手工制作,工艺复杂、设计效率低.随着计算机图形学、机器学习等计算机技术的兴起,如何应用计算机技术来进行民族图案的创新设计且延续其设计风格和文化语义,是我们当今设计者研究的一个重要议题.

在计算机辅助图案设计领域,顾朝晖等<sup>[1]</sup>选取了18种代表性的明代青花纹样设计成同款不同纹的旗袍,运用感性工学及因子分析法对所设计的旗袍进行效果研究.张红燕<sup>[2]</sup>建立耀州瓷牡丹纹样中图形组合要素与感性意象词汇的对应关系,得出纹样会因其组合图形的变化而影响人的感性意象.Misaka等<sup>[3]</sup>通过神经网络将用户的感性意象与设计参数相关联,构建了可以满足用户需求的陶器表面裂纹图案生成系统.张欣蔚等<sup>[4]</sup>基于本体和改进形状文法对图案构型进行提取和重用.在感性预测模型构建方面,周蕾等<sup>[5]</sup>运用神经网络和线性回归两类方法建立了产品信息界面的用户感性预测模型,对比了两类模型的预测偏差并结合实例对预测模型进行验证.Chang等<sup>[6]</sup>等应用线性回归构建可以整合构成要素的整体相互关系的感性预测模型,并通过验证表明总体模型在基于情感感知的消费者评估预测中更实用.Quan等<sup>[7]</sup>应用BP神经网络建立了产品属性和样式之间的映射模型,用于下一步的风格转移之中.

基于以上研究,本文以苗族蜡染图案为研究对象,应用可拓基元理论对苗族蜡染图案进行可拓表征,通过发散树法对其进行拓展分析,构建苗族蜡染图案本体模型框架.基于感性工学获取用户意象偏好,提出一种面向图案构型、图案语义、图案种类的图案解构方法,运用BP神经网络构建苗族蜡染图案感性意象与设计要素的感性预测模型,对设计思维进行收敛,并通过构建的线性回归预测模型对比验证该模型的有效性和精确性.根据神经网络基于用户意象的图案特征要素推荐完成图案的详细设计.

## 1 研究框架

根据可拓学先发散后收敛的菱形思维模式,将设计过程概括为设计生长阶段、设计收敛阶段和详细设计阶段.首先对苗族蜡染图案进行大量采集,应用可拓基元理论对苗族蜡染图案进行形式化表征,通过发散

树法对苗族蜡染图案基元进行拓展分析,完成设计思维的生长阶段.其次对苗族蜡染图案进行感性意象分析,建立苗族蜡染图案的特征要素解构空间和意象认知空间,运用神经网络建立感性预测模型,对设计思维进行收敛.最后完成设计过程的详细设计阶段,根据神经网络预测模型结果对用户意象的偏好推荐对苗族蜡染图案进行细化设计.基于可拓学与感性工学的苗族图案设计方法研究流程如图1所示.

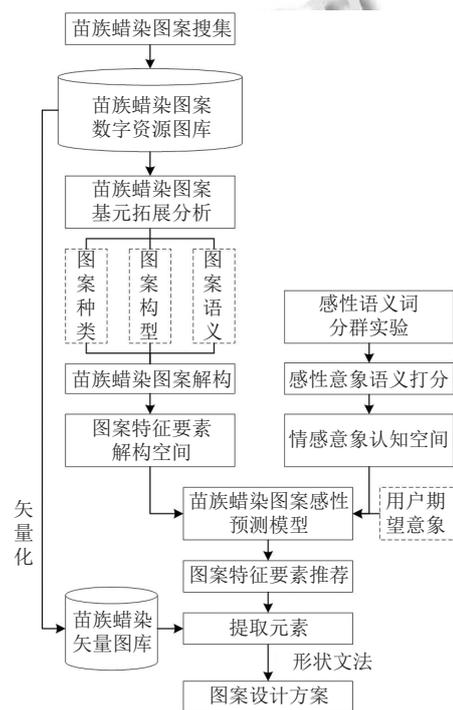


图1 研究流程图

## 2 苗族蜡染图案可拓模型建立

### 2.1 可拓基元理论及其形式化描述

可拓学<sup>[8]</sup>是一种形式化的描述客观世界事与物的方法,分析事与物拓展的可能性及拓展创新规律,具有简洁、统一和使用方便等特点.基元(用符号  $A$  表示)作为可拓学的逻辑细胞(包含物元  $R$ 、事元  $I$ 、关系元  $Q$ ),可以形式化描述物、事和关系,根据研究对象的不同性质,使用相应的基元类别形式化的描述研究问题.

依据可拓学物元  $R=(N, c, v)$  定义,  $N$  为事物的名称,  $c$  为事物的特征,  $v$  为事物的量值.一物往往对应多个特征,即  $c=[c_1, c_2, \dots, c_n]^T$  和相应特征的量值  $v=[v_1, v_2, \dots, v_n]^T$ <sup>[9]</sup>.定义  $R$  为研究对象  $N$  的  $n$  维物元,多维物元所构成的阵列表示如下:

$$R = \begin{bmatrix} N, & c_1, & v_1 \\ & c_2, & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.2 苗族蜡染图案数字资源图库构建及可拓表征

本体最初是哲学领域的概念, 后来被知识工程学用于概念化表达某一领域知识库的骨架或基础. 通过实地调研、相关书籍以及互联网等方式对苗族蜡染图案进行大量采集. 通过型谱分析法和形态分析法对图案进行解构, 基于本体理论, 构建苗族蜡染图案本体模型. 结合可拓基元理论, 对苗族蜡染本体知识进行表征, 如式(2)所示, 其中“苗族蜡染图案”为该物元名称, “图案种类”、“图案构型”、“图案语义”分别对应该物元的三个特征. 将搜集到的蜡染图案结合蜡染本体知识, 构建苗族蜡染图案数字资源图库, 并选取代表性纹样对其进行矢量化工作, 构建苗族蜡染矢量图库, 部分截图如图2所示.

$$R = \begin{bmatrix} \text{苗族蜡染图案} & \text{图案种类} & V_1 \\ & \text{图案构型} & V_2 \\ & \text{图案语义} & V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

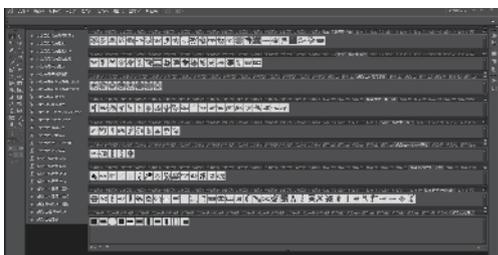


图2 苗族蜡染矢量图库部分截图

2.3 苗族蜡染图案基元拓展分析

拓展分析是根据基元的拓展分析原理对事、物、关系等进行拓展, 以获得解决矛盾问题的多种可能途径的方法<sup>[8]</sup>. 发散分析方法又称发散树法是拓展分析的一种, 旨在从一个用基元表示的目标或条件出发, 拓展出多个基元, 为解决矛盾问题提供多种可选择的途径.

从设计方法学与可拓学结合的角度描述, 产品设计是以可拓原点基元  $R_0$  为出发点, 可拓向量基元  $R_E$  为方向向量  $T$  的思维生长过程<sup>[10]</sup>, 其设计生长阶段发散树模型为:  $S=R_0R_ET$ , 通过拓展分析过程  $R-\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ , 形成设计概念基元集  $S = \{R\}$ . 通过文献研究等方式获取苗族纹样语义、构图等知识, 对苗族蜡染图案基元  $R$  运用发散树法进行拓展, 由  $R$  拓展出图案

种类  $R_1$ , 图案构型  $R_2$ , 图案语义  $R_3$  等多个基元, 将其简化表示为:

$$R - \left\{ \begin{array}{l} R_1 - \left\{ \begin{array}{l} R_{11} \\ R_{12} \\ R_{13} \end{array} \right. \\ R_2 - \left\{ \begin{array}{l} R_{21} \\ R_{22} \\ R_{23} \end{array} \right. \\ R_3 - \left\{ \begin{array}{l} R_{31} \\ R_{32} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

将拓展后的基元集  $S = \{R\}$  结合本体理论绘制苗族蜡染本体模型框架, 如图3所示.

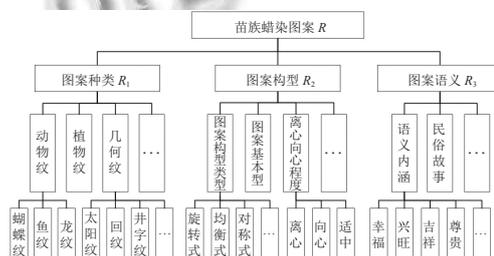


图3 苗族蜡染本体模型框架

3 苗族蜡染图案感性意象分析

设计收敛是保证设计过程朝期望方向发展的重要步骤. 感性工学是获取用户意象偏好, 将用户的感性认知转化为设计要素的重要方法, 结合感性工学, 对设计基元集  $S = \{R\}$  进行设计收敛, 得到收敛后的基元集  $S' = \{R'\}$ , 表示为  $R - \{R_1, R_2, \dots, R_n\} | - \{R'_1, R'_2, \dots, R'_n\}$ .

3.1 构建图案特征要素解构空间

将已收集的苗族蜡染图案数字资源图库作为样本选择的范围. 样本的选择原则是除去材质对图案意象的影响, 除去色彩对图案意象的影响, 尽可能将图案色彩调成同一色系.

苗族图案的设计不能只考虑孤立的图案构型, 也应考虑图案构型及语义组合之后所传达的含义和信息. 本文综合考虑图案各方面要素给人的感性意象影响, 运用感性工学的方法将蜡染图案从图案种类、图案构型和纹样语义三方面进行解构. 对影响苗族图案感性意象的构型设计要素进行提取和归纳, 综合考虑单独纹样的特性以及纹样间的组合和整体相互关系<sup>[6]</sup>, 最终确定7个设计要素为: 线的疏密、线的曲度、图案构型类型、图案基本形、离心向心程度、纹样种类、纹样语义, 分别用  $X_1, X_2, \dots, X_7$  表示. 通过对搜集的苗族

蜡染图案数字资源图库以及代表性样本进一步分析, 最终得到苗族蜡染图案构型解构编码表, 见表1.

表1 苗族蜡染图案解构编码表

种类	设计要素	类目1	类目2	类目3	类目4
局部纹样	线的疏密 $X_1$	稀疏	密集	—	—
特征	线的曲度 $X_2$	曲度大	曲度小	—	—
整体构型关系	图案构型类型 $X_3$	旋转式	均衡式	对称式	多层式
	图案基本形 $X_4$	方形	圆形	多角形	自然形
	离心向心程度 $X_5$	离心	适中	向心	—
纹样内容	纹样种类 $X_6$	动物纹样	植物纹样	几何纹样	组合纹样
	纹样语义 $X_7$	祖先崇拜	种族繁衍	纳吉求福	—

苗族纹样不仅承载了苗族的历史文化生活, 也传达出民族的原创设计思想, 蕴涵了生动丰富的设计语义. 苗族蜡染中的图形符号被赋予了更加重要的文化传承功能, 被誉为“无字史书”<sup>[11]</sup>. 只有对苗族纹样语义进行充分理解, 才能更好地将其进行解构、重构并用于设计应用中. 苗族纹样种类多样, 具有多种语义, 对书籍及文献进行研究将其归纳总结可分为三大类: 祖先崇拜、种族繁衍和纳吉求福, 对部分常见纹样语义进行整理总结如表2所示.

表2 苗族纹样语义归类表

纹样名称	纹样类别	纹样语义	语义归类
鱼纹	动物纹	多子多福	种族繁衍
龙纹	动物纹	吉祥尊贵	纳吉求福
蝴蝶纹	动物纹	吉祥幸福、祖先崇拜	祖先崇拜
鸟纹	动物纹	自由、幸福	纳吉求福
花卉纹	植物纹	少女、青春	纳吉求福
葫芦纹	植物纹	驱魔辟邪、保宅护家	纳吉求福
枫木纹	植物纹	长寿、祖先崇拜	祖先崇拜
石榴纹	植物纹	子孙兴旺	种族繁衍
太阳纹	几何纹	生命不息兴旺发达	纳吉求福
水波纹	几何纹	自然崇拜、曾经民族迁徙缅怀	纳吉求福
...	...	...	...

### 3.2 构建情感意象认知空间

从相关书籍、期刊文献、互联网等途径收集了156个适用于苗族图案的感性意象语义. 建立基于网络的调查问卷, 要求被试者根据自己的实际经验, 勾选出最适合苗族图案的感性意象语义, 被试者包括学生群体、对苗族文化感兴趣的消费者群体、白领群体和随机人员, 回收有效问卷78份, 保证了调查问卷的有效性. 最终选定39个符合条件的感性意象语义.

为充分了解图案意象的语义关系, 选择52位被试者对39个感性意象词进行语义分群, 根据主观感受将

其分为10个群. 根据被试者分群相同的次数统计出39×39的相似性矩阵, 在SPSS软件中进行聚类分析, 根据得到的聚类树状图确定最终分为7群. 聚类树状图如图4所示, 从每一个聚类中逐个提取最具代表性的感性词<sup>[3]</sup>, 最终选定的形容词对: 动感的-稳定的、华丽的-朴素的、兴旺的-没落的、普通的-独特的、简洁的-复杂的、新鲜的-沉闷的、柔和的-硬朗的.

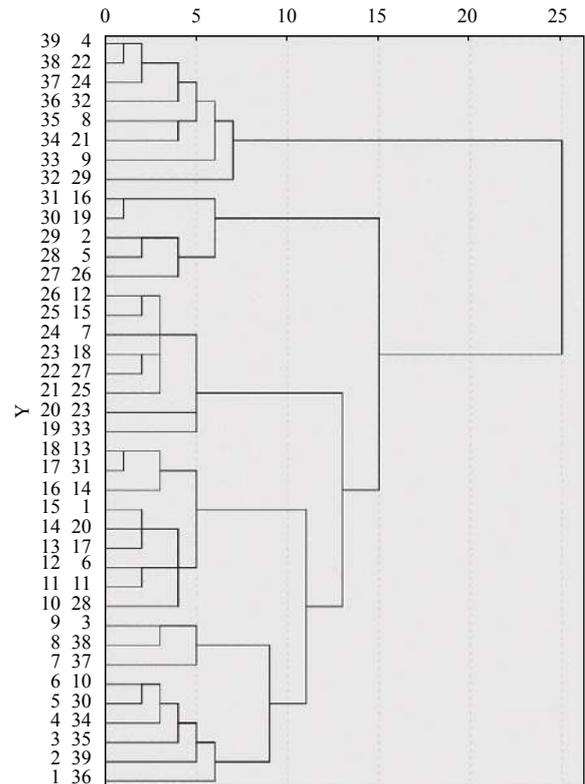


图4 聚类树状图

综合考虑纹样种类、构型和语义等因素, 从构建的苗族蜡染图案数字资源图库中, 挑选出代表性样本210个, 并对其进行随机编码, 作为感性意象认知实验的代表样本, 部分代表样本如图5所示.

在对图案进行构型和语义解构的基础上, 邀请测试者对实验样本进行感性意象认知实验, 得到测试者对每个样本的感性评价价值, 构成一个复杂高维的感性意象认知空间. 设对第 $k$ 类感性意象而言, 第 $i$ 个测试者对实验样本 $j$ 的情感评价价值为 $A_{ij}^k$ , 所有测试者对样本 $j$ 在第 $k$ 类感性意象下的认知向量为 $\{A_{1j}^k, A_{2j}^k, \dots, A_{ij}^k, \dots, A_{nj}^k\}$ , 则在第 $k$ 类情感下, 所有测试者针对所有实验样本的认知空间如式(3)所示<sup>[12]</sup>:

$$\begin{bmatrix} A_{11}^k & A_{21}^k & \dots & A_{i1}^k & \dots & A_{n1}^k \\ A_{12}^k & A_{22}^k & \dots & A_{i2}^k & \dots & A_{n2}^k \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ A_{1j}^k & A_{2j}^k & \dots & A_{ij}^k & \dots & A_{nj}^k \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ A_{1m}^k & A_{2m}^k & \dots & A_{im}^k & \dots & A_{nm}^k \end{bmatrix} \quad (3)$$

在这个高维意象认知空间中, 设所有评价者对第

$k$ 类情感、样本 $j$ 的的情感意象评价均值 $\bar{A}_{ij}^k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{ij}^k$  ( $n$ 为测试者数量), 它是实现用户意象需求与图案设计特征之间映射、构建苗族图案感性预测模型的关键值。采用5阶李克特量表的方法设计调研问卷, 邀请48位被试者就7个感性意象语义对图案进行打分, 整理后得到各样本在感性意象语义下的平均值, 部分样本的感性语义评价如图6所示。

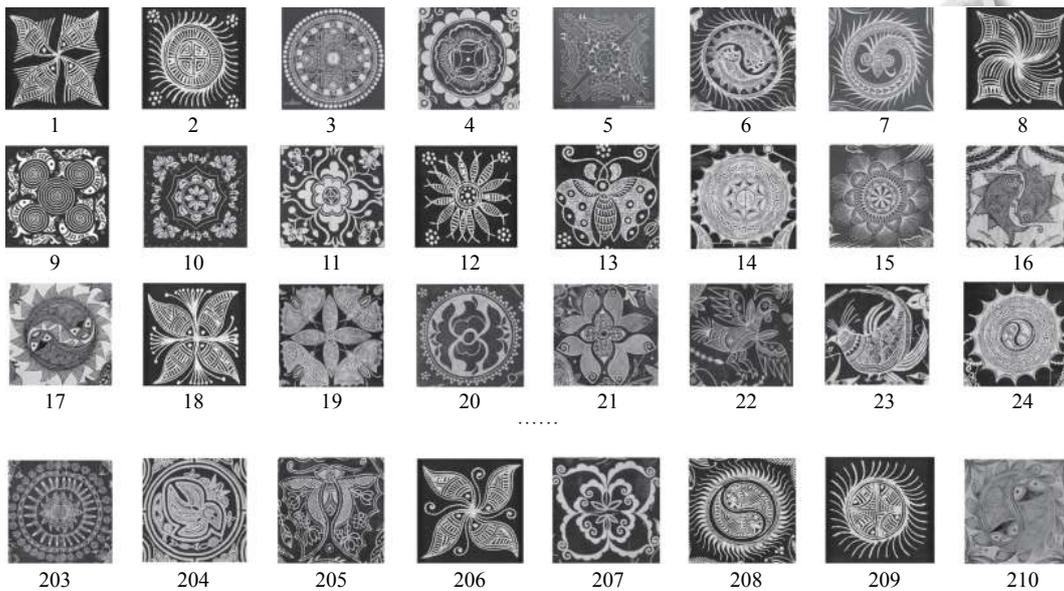


图5 苗族图案部分代表样本

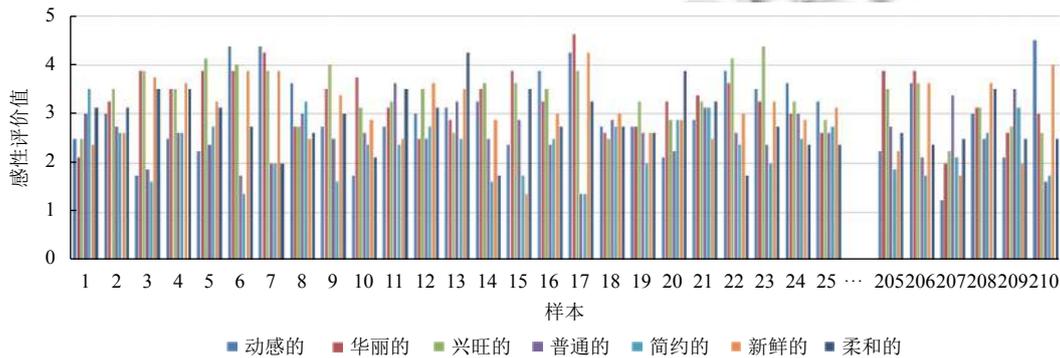


图6 部分样本感性语义评价

#### 4 苗族蜡染图案感性预测模型构建

结合前边构建的图案特征解构空间和意象认知空间, 研究他们之间的量化映射关系。应用BP神经网络构建苗族蜡染图案的感性预测模型, 对用户需求意象进行预测。

#### 4.1 图案设计要素参数化处理

由于图案设计变量无法直接应用于感性预测模型的构建, 需要将设计信息进行参数化处理, 每个样本编码的位数与设计要素的总数量相同即为22。设若某一样本某一类目下具有该特征属性将其编码为1, 不具有

该特征属性将其编码为 0, 从而将样本的设计要素特征转化成为定量描述, 整理出 210 个样本的设计要素编码表如表 3 所示.

表 3 苗族蜡染图案解构编码表

种类	要素	样本				
		1	2	3	...	210
线的疏密 $X_1$	稀疏	1	1	0	...	0
	密集	0	0	1	...	1
线的曲度 $X_2$	曲度大	0	0	0	...	0
	曲度小	1	1	1	...	1
图案构型类型 $X_3$	旋转式	1	0	0	...	0
	均衡式	0	0	0	...	1
	对称式	0	1	1	...	0
	多层式	0	0	0	...	0
图案基本形 $X_4$	方形	1	0	0	...	0
	圆形	0	1	1	...	1
	多角形	0	0	0	...	0
	自然形	0	0	0	...	0
离心向心程度 $X_5$	离心	1	0	0	...	0
	适中	0	0	1	...	0
	向心	0	1	0	...	1
纹样种类 $X_6$	动物纹样	1	0	0	...	1
	植物纹样	0	0	0	...	0
	几何纹样	0	1	0	...	0
	组合纹样	0	0	1	...	0
纹样语义 $X_7$	祖先崇拜	0	0	0	...	1
	种族繁衍	1	0	1	...	0
	纳吉求福	0	1	0	...	0

## 4.2 用户感性的神经网络预测模型

### 4.2.1 神经网络模型构建

多元线性回归分析、联合分析等是一些用来分析产品设计要素和用户意象之间的关系的方法. 但是如果自变量和因变量以非线性关系为特征, 或者两组变量之间存在多重共线性效应, 则预测结果的准确性就会大大降低<sup>[13]</sup>. 与这些传统的感性工学分析方法相比, BP 神经网络构建预测模型时不受自变量和因变量之间关系类型的限制, 它既适用于具有线性模式的数据集, 也适用于非线性的数据集.

BP 神经网络是由 Rumelhart 等提出的一种有监督的、按误差逆传播算法训练的多层前馈网络, 具有高度非线性映射能力和较好的容错能力<sup>[14]</sup>, 其结构如图 7 所示. 造成苗族蜡染图案感性意象的影响因素复杂, 它能够对用户感性意象和图案设计要素的相关数据进行学习训练并建立映射关系.

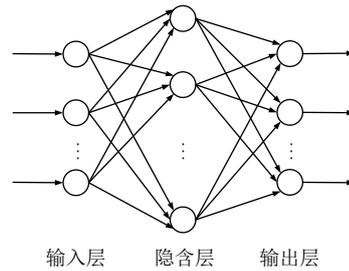


图 7 BP 神经网络模型结构

运用 Matlab 软件中的 BP 神经网络工具箱辅助计算, 构建图案设计特征与感性评价的映射模型, 该模型包含输入层、输出层和隐含层. 其中输入层为 210 个样本的设计要素编码, 输出层为样本对应的 7 组感性评价, 初步确定网络为 3 层, 输入层和输出层的节点数分别为 22 和 7, 隐含层神经元数量的经验公式为:

$$p = \sqrt{n+q} + z, p \in [5, 14] \quad (4)$$

式中,  $p, n, q$  分别表示隐含层、输入层、输出层的神经元数量,  $z$  为经验值 ( $1 \leq z \leq 10$ )<sup>[15]</sup>. 隐含层数是影响模型精度的重要因素之一, 利用试凑法对不同隐含层神经元数目的网络模型进行训练, 发现当  $p$  值为 12 时, 其输出误差最小<sup>[16]</sup>. 最终确定的神经网络预测模型各层次神经元的个数如图 8 所示.

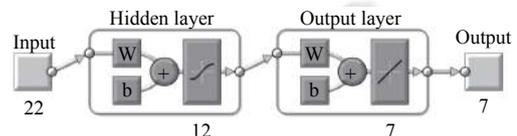


图 8 BPNN 各层次神经元个数

### 4.2.2 神经网络模型训练

训练算法对网络模型的精度也有很大影响<sup>[17]</sup>, 在 Matlab 神经网络工具箱中, 设置网络的学习次数为 1000 次, 误差为 0.001, 对比 trainlm、trainbr、trainscg 三种训练函数, 最终采用 trainlm 函数训练网络. 随机选取 70% 的样本数据作为训练集 (147 个样本), 30% 的样本作为测试集 (63 个样本), 将训练集导入建立好的网络进行训练. 拟合优度  $R^2$  作为评价 BPNN 模型性能的指标<sup>[18]</sup>,  $R^2$  越接近 1, 说明模型的拟合程度越好. 该神经网络预测模型  $R^2$  为 0.891, 该模型达到较好的预测性能.

### 4.2.3 神经网络模型测试与分析

将测试集中的 63 个样本参数输入训练好的神经

网络, 通过前馈计算得到感性评价预测值<sup>[15]</sup>. 选取 30 位被试者对测试集中的样本进行意象值打分, 将上述两组数据进行归一化处理, 应用函数  $MSE$  进行检测, 其表达式为:

$$MSE = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p (v_{\text{预测值}} - v_{\text{实际值}})^2 \quad (5)$$

其中,  $p$  表示输出层的神经元. 一般情况下,  $MSE$  数值小于 0.01 表明该训练模型具有可靠性. 将测试集样本针对 7 组感性意象词得到的预测值和实际值通过式 (5) 计算得到  $MSE$  值为 0.0069, 其值小于 0.01,

表明构建的苗族蜡染图案感性预测模型具有可靠性.

7 组感性意象词的实际值与预测值的对比曲线如图 9 所示. 预测值与实际值的曲线走向基本相似, 表明此预测结果具有一定的可信度. 运用式 (6) 来计算网络的预测值与实际值之间的相对误差, 7 组感性意象词对相对误差的平均值为 0.087, 7 组感性词的相对误差绝对值如表 4 所示.

$$v = \frac{|v_{\text{预测值}} - v_{\text{实际值}}|}{v_{\text{实际值}}} \quad (6)$$

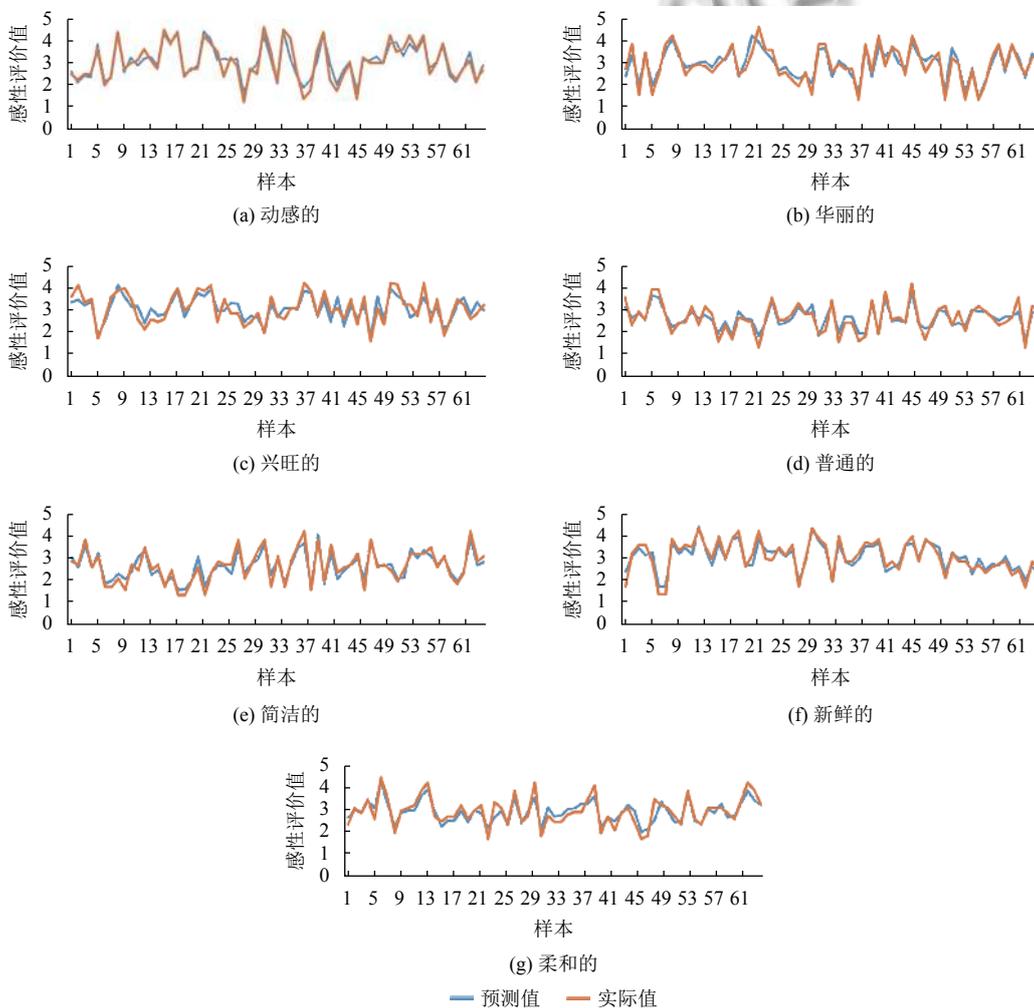


图 9 苗族蜡染图案感性评价实际值与预测值

构建多元线性回归预测模型与 BP 神经网络的预测效果进行对比, 使用 SPSS 22 软件对 147 个样本数据进行线性回归分析, 研究用户的感性评价与 22 个图案设计要素的线性回归关系, 7 组感性评价的拟

合指标如表 5 所示. 一般情况下, 当  $R^2$  大于 0.7 时, 表示该分析结果具有较高的可信度, 7 组感性词的决定系数  $R^2$  均大于 0.7, 表示此统计结果的可信度可以被采纳. 运用式 (6) 计算多元线性回归模型的相对误差平均

值为0.103. 从拟合程度和相对误差可以看出, BP神经网络模型比线性回归模型的预测效果更精确.

表4 相对误差

种类	误差	种类	误差
动感的	0.089	华丽的	0.092
兴旺的	0.095	普通的	0.086
简洁的	0.090	新鲜的	0.075
柔和的	0.084	平均值	0.087

表5 多元回归模型的拟合指标

种类	R	R <sup>2</sup>
动感的	0.921	0.848
华丽的	0.871	0.759
兴旺的	0.863	0.745
普通的	0.846	0.716
简洁的	0.867	0.753
新鲜的	0.925	0.856
柔和的	0.857	0.734

影响苗族图案的设计要素类目共有7个, 将每个类目下的属性进行自由组合共得到 $2 \times 2 \times 4 \times 4 \times 3 \times 4 \times 3 = 2304$ 种, 应用 Matlab 编程生成对应的2304种设计要素编码, 作为BP神经网络的输入层数据. 应用前面训练好的网络模型进行预测, 得到对应的感性预测值, 并找到每个感性词所对应的最大值, 如表6所示. 7个感性意象词动感的、华丽的、兴旺的、普通的、简洁的、新鲜的、柔和的对应的预测最大值的设计要素编码分别为: 0110010001000101000001、0110001000010100100001、0110010001000100001010、1001000100011000001100、1001100010001000010001、1010100001000101000010、1010100001001000100010. 将此编码用于指导下一步感性意象词对应的图案的检索及再设计.

表6 预测最大值

感性词	预测最大值
动感的	4.679
华丽的	4.128
兴旺的	4.097
普通的	3.865
简洁的	3.774
新鲜的	4.398
柔和的	4.013

### 4.3 苗族蜡染图案详细设计阶段

根据神经网络感性预测模型的预测推荐, 得到每一个感性意象词对应的最合适的图案特征设计要素编

码, 对图案基元集进行收敛, 得到收敛后的基元集 $S' = \{R'\}$ . 详细设计阶段是对收敛后的基元集进行详细设计与优化, 获得图案基元集 $S'' = \{R''\}$ .

将得到的7个感性意象词对应的最优设计要素编码对应到表1苗族蜡染图案解构编码表中, 得到每个感性意象词对应的设计要素指导, 根据此指导对图案进行详细设计. 例如, 通过对上述BP神经网络映射关系模型的分析, 我们可得到“动感的”意象最高的特征要素组合为: 密集+曲度大+均衡式+圆形+适中+动物纹+纳吉求福, 我们可通过此种方法来分析其他感性意象的最高意象组合来检索及指导再设计.

形状文法是一种常用的图案设计方法, 它有多种推理规则, 方便进行有效的形状变换, 其中常用的有: 置换、增删、缩放、复制、旋转、错切、坐标变动等<sup>[19]</sup>. 从苗族蜡染矢量图库中选择符合期望意象的苗族纹样, 根据BP神经网络的感性预测模型构型推荐, 应用形状文法对其进行纹样变换. 例如, 根据神经网络预测模型的特征要素推荐, 从苗族蜡染矢量图库中选择合适的动物纹, 对其进行增删、旋转变换, 构建均衡式构型, 辅助合适的边框纹样, 最终得到符合“动感的”意象的最优图形组合, 其纹样变换过程如图10所示. 通过此种方法可得到其他期望感性意象词的最优图案组合形式.

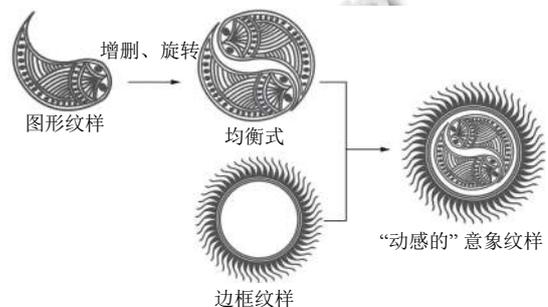


图10 图形变换过程

## 5 结语

针对苗族图案的重用与传承问题, 提出一种基于可拓表征与神经网络的民族图案设计方法, 根据用户期望意象对图案构型等设计要素进行推荐, 完成图案的设计. 首先对苗族蜡染图案进行可拓表征, 运用发散树法对其进行拓展分析, 其次运用感性工学的手段对设计思维过程进行收敛, 提出一种面向图案构型和图案种类、语义的图案解构方法, 构建基于BP神经网络

的感性预测模型,根据用户意象对图案特征要素进行推荐,并与线性回归预测模型进行对比验证其优势性,最后结合形状文法完成图案的详细设计.以苗族蜡染图案为例,验证该方法的可行性,为其他地域文化图案的解构及再设计提供参考.

苗族图案传达的感性意象是综合图案种类、构型和纹样本身语义内涵等多方面因素的结果,在后续的研究中,将进一步对种类、构型和语义分类进行细化,同时完善详细设计阶段,使图案定制设计更高效.

### 参考文献

- 1 顾朝晖,王亚娟.明代青花纹样在旗袍上的应用效果.纺织学报,2018,39(1):126-132.
- 2 张红燕.耀州瓷牡丹纹样装饰意象研究.包装工程,2018,39(22):320-324.
- 3 Misaka M, Aoyama H. Development of design system for crack patterns on cup surface based on KANSEI. Journal of Computational Design and Engineering, 2018, 5(4): 435-441. [doi: 10.1016/j.jcde.2017.12.008]
- 4 张欣蔚,王进,陆国栋,等.基于本体和形状文法的图案构形提取与重用.浙江大学学报(工学版),2018,52(3):461-472. [doi: 10.3785/j.issn.1008-973X.2018.03.007]
- 5 周蕾,薛澄岐,汤文成,等.产品信息界面的用户感性预测模型.计算机集成制造系统,2014,20(3):544-554.
- 6 Chang YM, Chen CW. Kansei assessment of the constituent elements and the overall interrelations in car steering wheel design. International Journal of Industrial Ergonomics, 2016, 56: 97-105. [doi: 10.1016/j.ergon.2016.09.010]
- 7 Quan HF, Li SB, Hu JJ. Product innovation design based on deep learning and kansei engineering. Applied Sciences, 2018, 8(12): 2397. [doi: 10.3390/app8122397]
- 8 杨春燕,蔡文.可拓学.北京:科学出版社,2014.
- 9 刘晓敏,李娇蓉,陈亮,等.融合可拓学与多层次知识建模的仿生原型获取.机械工程学报,2019,55(21):150-160.
- 10 吕健,谢庆生,黄海松,等.基于图解特征语义认知的产品设计过程知识模型.图学学报,2015,36(5):703-711. [doi: 10.11996/JGJ.2095-302X.2015050703]
- 11 刘玮,吴智慧.黔东南苗族动植物刺绣纹样的设计语义解读.艺术评论,2016,(11):157-160.
- 12 阳明庆,赵锐,肖华亮,等.基于C-MKE模型的交互界面设计.图学学报,2018,39(4):635-641.
- 13 Chen HY, Chang YM. Development of a computer aided product-form design tool based on numerical definition scheme and neural network. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 2014, 8(3): M33.
- 14 邵宏宇,孟琦,赵楠,等.基于BP神经网络的产品性能满意度预测分析.天津大学学报(自然科学与工程技术版),2019,52(9):932-940.
- 15 李少波,全华凤,胡建军,等.基于在线评论数据驱动的产品感性评价方法.计算机集成制造系统,2018,24(3):752-762.
- 16 范鹏飞,张冠.基于线性回归和神经网络的金属陶瓷激光熔覆层形貌预测.表面技术,2019,48(12):353-359,368.
- 17 Ozsoydan FB, Kandemir CM, Demirtas EA. Neural-network-based genetic algorithm for optimal kitchen faucet styles. Neural Network World, 2015, 25(4): 387-404. [doi: 10.14311/NNW.2015.25.020]
- 18 陈耶拉,耿秀丽.基于改进协同过滤的个性化产品服务系统方案推荐.计算机集成制造系统,2021,27(1):240-248.
- 19 朱天燕.基于形状文法和交互式遗传算法的产品形态推演设计研究[硕士学位论文].南京:南京航空航天大学,2018.