

基于多维可拓感性工学的木制民居创新设计

单军军, 马丽莎, 吕健, 潘伟杰, 孙琳
(贵州大学, 贵阳 550025)

摘要: **目的** 研究木质民居设计过程中的多维感性知识表征及思维收敛问题, 提出基于多维可拓感性工学的木制民居创新设计。**方法** 首先, 将木质民居多维度设计知识进行可拓形式化表征。其次, 运用发散树法构建设计概念生长阶段模型进行思维发散。再次, 对设计概念集初步收敛, 并用模糊综合评价法对产品功能性进行评估。最后, 解构木质民居多维度设计特征并量化处理, 构建感性意象认知矩阵, 建立映射函数后带入 SPSS 软件评估概念方案是否符合设计意象, 增加设计成功率。**结论** 以黔东南木制民居构件库为例, 验证该方法可行, 但仍需进一步完善设计方法理论体系。

关键词: 可拓学; 多维感性工学; 设计特征; 感性意象

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)10-0263-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.10.051

Innovative Design of Wooden Residence Based on Multidimensional Extension Kansei Engineering

SHAN Jun-jun, MA Li-sha, LYU Jian, PAN Wei-jie, SUN Lin
(Guizhou University, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: Aiming at the problem of multi-dimensional perceptual knowledge representation and thinking convergence in product design process, a product design method based on multidimensional extension kansei engineering is proposed. First of all, the product multi-dimensional design knowledge of wooden residence is made for the extension of formalization. Secondly, the design concept of growth stage model of divergent thinking by divergent tree is constructed. Thirdly, the design concept set is converged and evaluated. The fuzzy comprehensive method is used to evaluate the function of the product. Finally, the product multi-dimensional design characteristics are deconstructed, the cognitive matrix of perceptual image is constructed and the mapping function between them is established. Through the SPSS software to help designers to assess whether the conceptual design of the image, the success rate of design is increased. The feasibility of the method is verified by the example of Qiandongnan wooden house, and the theory system of product design method is further improved.

KEY WORDS: extenics; multidimensional kansei engineering; design feature; kansei imagery

随着产品生命周期逐渐缩短, 消费者个性化需求不断提高, 以“用户为中心”的产品设计开发成为企业的重要战略^[1]。格式塔理论指出, 视觉形象首先被作为整体而认知^[2]。由此可知, 用户感觉意象是由产品“形色质肌”等多维设计特征, 在同一时刻共同刺激人

的感官而形成的。胡伟峰^[3]提出基于造型特征线的汽车造型意象研究方法, 采用统计分析与感性工学的方法建立感性词对和主特征线之间的映射模型。苏建宁^[4]通过类目层次法得到设计要素, 使用数量化理论建立情感意象与设计特征元素之间的关系, 满足用

收稿日期: 2018-03-21

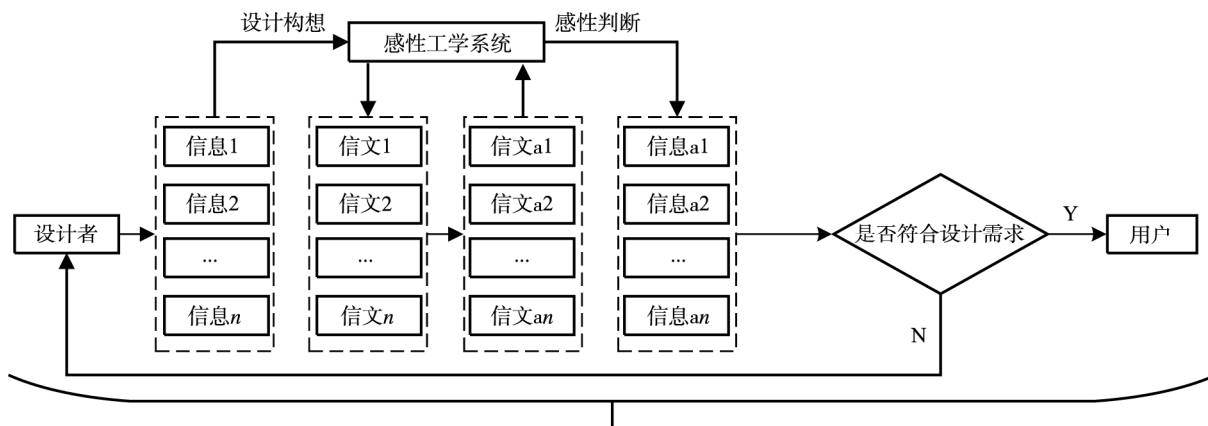
基金项目: 国家科技支撑项目 (2014BAH05F01); 贵州省科技项目 ([2015]6008, [2015]6014, [2016]7467, [2014]7644, [2016]2327, [2014]004)

作者简介: 单军军(1989—), 男, 江苏人, 硕士生, 主攻非物质文化遗产保护及产品设计方法。

通信作者: 潘伟杰 (1983—), 男, 博士, 贵州大学副教授、硕士生导师, 主要研究方向为数字化设计与艺术。

户感性意象需求。刘征宏^[5]针对单一感性工学模型不能明确反映用户潜在感性需求，提出了基于多元线性回归的多维感性工学模型构建方法。刘玲玲^[6]使用图表法对产品轮廓解构，提出多维度特征解析步骤。Han等^[7]将MP3产品形态分解为各个独立元件，描述多维变量与设计特征之间的关系。

通过以上研究，本文将多维度设计特征知识进行可拓表征，用发散树法构建思维发散模型，对设计对象的形、色、质、肌理、文化内涵等多维度信息进行深入分析，掌握多维度设计特征给用户带来的感性意象，以此思想为指导探索合适的设计方法，增加设计成功的可能性。



产品设计知识编码与解码过程

图1 设计过程的知识传递模型

Fig.1 Knowledge transfer model of product design process

1.2 设计过程知识可拓表征

设计者需要在设计生产之前，对设计对象的多维度信息有序组织并深入加工，掌握多维度设计知识给用户带来的感性意象，探索出合适的设计方案。产品设计过程的知识表征在一定程度上可以理解为设计思维的“可拓运算”，见图2。

1.3 多维度设计知识的形式化表征

产品设计知识往往是多维的，依据可拓理论“一元多征”的思想，多维物元和一维物元相似，由物元对象 O_m ，设计特征 $c_{m1}, c_{m2}, \dots, c_{mn}$ 和设计特征值 $v_{mi} (i=1,2,\dots,n)$ 构成的阵列，如下所示：

$$M_i = \begin{bmatrix} O_m & c_{m1} & v_{m1} \\ & c_{m2} & v_{m2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{mn} & v_{mn} \end{bmatrix}$$

从设计问题中提取物元要素，必须明确产品设计特征的分类和特征值的分类，理解“一物多征”、“一征多值”、“一值多征”的可拓思想^[9]。黔东南木质民居构件库包含门、窗、吊角、围栏、美人靠、屋檐、楼梯等构件，将可拓基元理论融合图解语义方法对木质民居构件库进行知识表征如下：

1 设计过程的知识获取与表征

1.1 设计过程的知识传递

设计知识传递是一个信息编码和解码的过程，设计者设计编码信息，用户使用过程是解码信息^[8]。设计者在编码过程中，需要充分了解用户的解码机制。在工业设计领域，感性工学是获取用户感性需求以及匹配用户感知意象的重要途径。将设计者的设计构想进行感性工学系统定性和定量分析，掌握设计特征，评估概念方案是否符合设计意象，此模式有助于提高设计成功率，见图1。

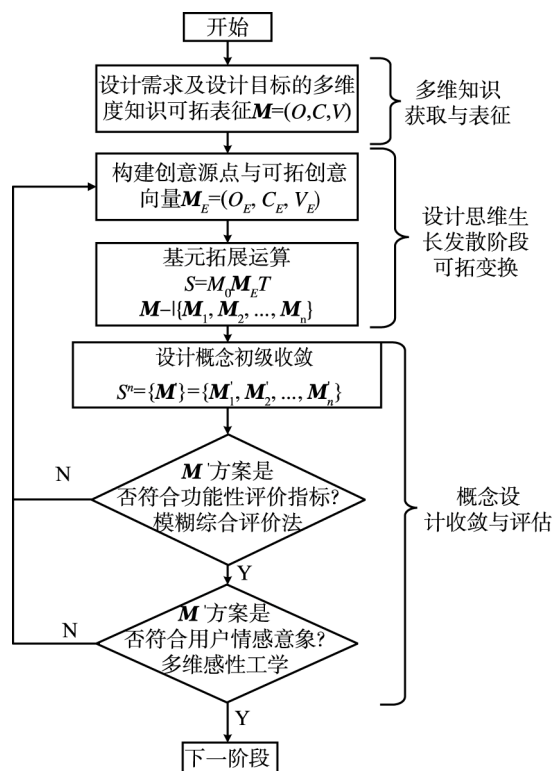
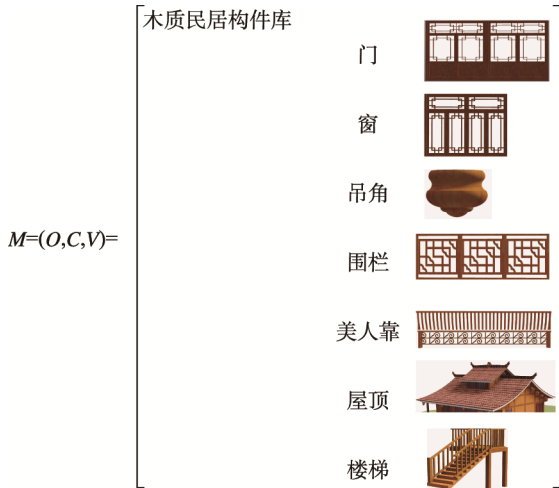


图2 概念设计过程多维度知识的可拓分段表征
Fig.2 Extension and representation of multi dimensional knowledge in conceptual design process



2 基于发散树法的概念生长过程

设计过程中，通过需求分析得出设计目标，定义为目标基元。在目标基元的基础上，提取有效的设计方向基元 M_E ，构建设计过程中的概念生长阶段模型， M_E 表征如下：

$$M_E = (O_E, C_E, V_E) = \begin{bmatrix} O_E & \text{可拓方向} c_{Edi} & v_{Edi} \\ & \text{可拓距离} c_{Ele} & v_{Ele} \\ & \text{可拓等级} c_{Ede} & v_{Ede} \end{bmatrix}$$

其中可拓方向 c_{Edi} 表示 1 或 n 个设计方向，并有与之相对应的 v_{Edi} 量值；可拓距离 c_{Ele} 取值为 1 个长度的取值区间，表示为 $v_{Ele} = \langle l_{\min}, l_{\max} \rangle$ ；可拓等级 c_{Ede} 表示在设计生长过程中思维发散的次数 n ，表示

为 $v_{Ede} (1, 2, \dots, n)$ 。

可拓学与产品设计方法融合的角度描述，概念生长则是以可拓源点 M_0 为基元出发点，可拓向量 M_E 为方向向量 T 的设计过程，其概念生长阶段发散树模型为： $S = M_0 M_E T$ ，通过可拓分析 $M - \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ ，形成设计概念集 $S = \{M\}$ ，以下通过发散树法描述设计生长及问题的求解过程。

在设计木质民居构件库时需要引入传统元素，采用模块化技术，将传统文化元素重构为工业化模块单元，实现传统与现代的协调共生及二者的升华。以门构件为例，试图解决大规模定制过程中个性化与模块化生产之间的矛盾。

(1) 给出

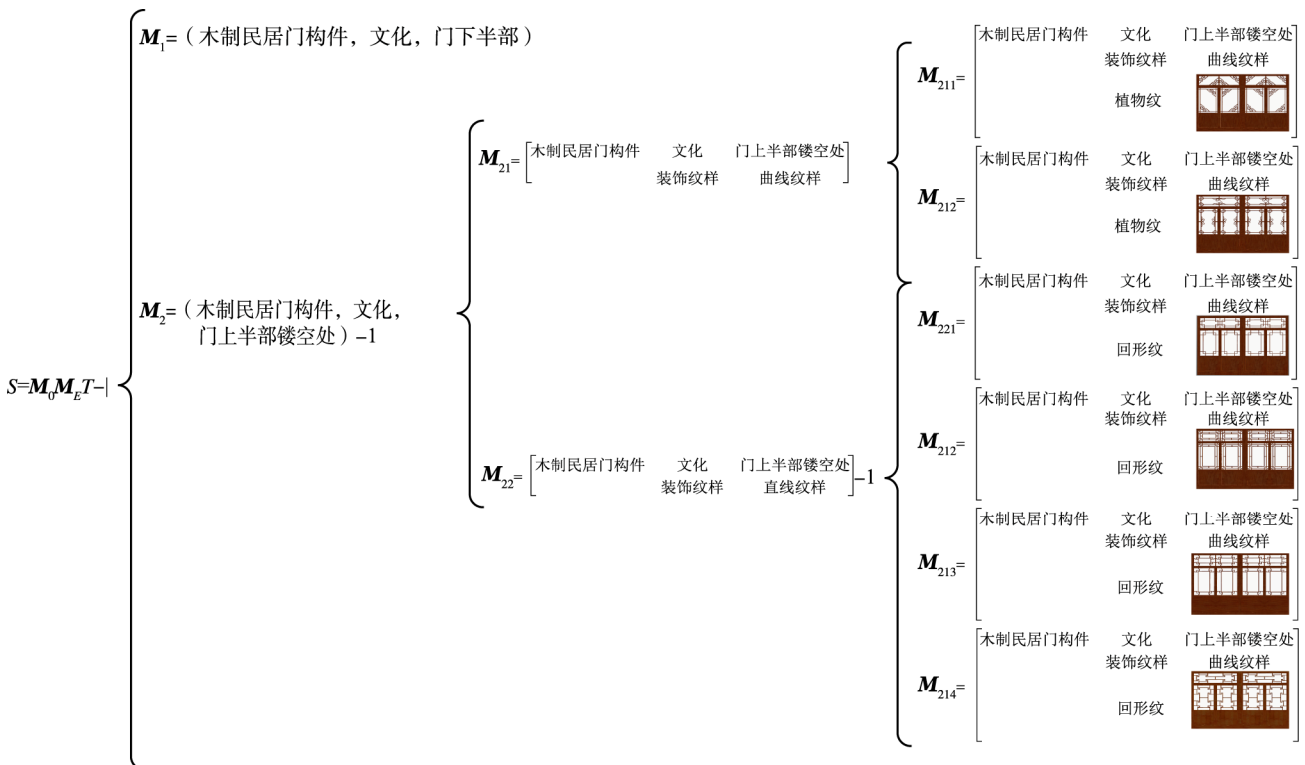
$$M_0 = \begin{bmatrix} \text{木质民居门构件} & \text{尺寸} & (3600 \times 2780 \times 50) \text{ mm} \\ & \text{主体材质} & \text{木材质} \\ & \text{辅助材质} & \text{玻璃} \\ & \text{主体材质纹理} & \text{细纹} \\ & \text{文化} & \text{装饰纹样} \end{bmatrix}$$

(2) 发散树法

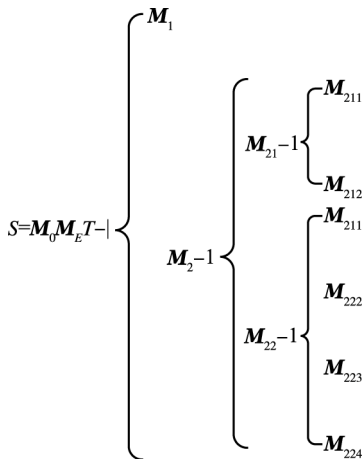
$$M_E = \begin{bmatrix} \text{解决个性化矛盾} & \text{可拓方向} & \text{文化语义} \\ & \text{可拓距离} & 1 \\ & \text{可拓等级} & 3 \end{bmatrix}$$

其中，可拓距离取值 1 表示严格从文化语义角度解决，对门基本尺寸不做改动。可拓等级取值 3，表示发散树层次不超过 3 次迭代。

(3) 经过 $M - \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ ， $S = M_0 M_E T$ ，得到：



简化发散树表示为:



通常在概念设计阶段, 需要将思维发散、语义、图解等方法综合利用。如木质民居, 在确定设计任务后, 通过发散树法获取多种概念方案, 构建各构件的实体模型库, 见图3。

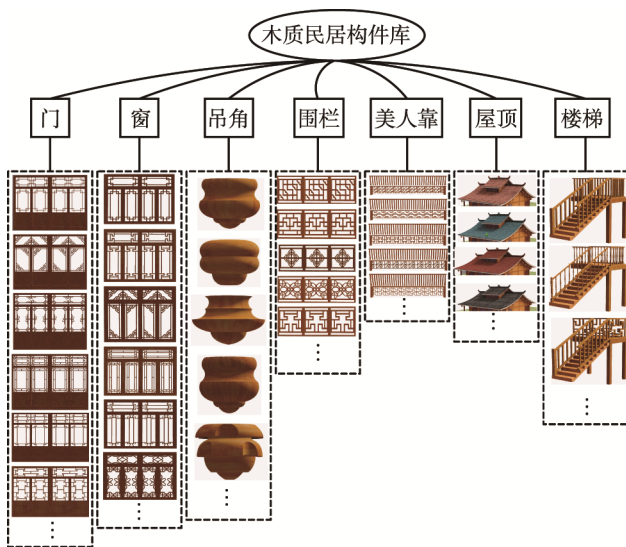


图3 木质民居构件库
Fig.3 Wooden House Component Library

3 设计思维的收敛评估

产品设计过程可以概括为发散思维、收敛思维和优化阶段、产品化阶段, 是一个思维拓展到收敛的过程。收敛思维是保证产品创意设计朝需求方向发展的重要途径。根据产品需求, 利用非满足不可的评估目标, 对设计概念集 $S = \{M\}$ 进行初次收敛, 剔除不满足的个体, 构建概念收敛后的基元集 $S' = \{M'\}$, 表示为 $\{M_1, M_2, \dots, M_n\} | - \{M'_1, M'_2, \dots, M'_n\}$ 。

失败的设计方案会导致产品生产阶段不可弥补的损失, 在方案优化阶段, 设计评估是至关重要的。

3.1 功能性评估

根据模糊综合评价法对产品功能性评估, 表征如下。

评估指标集 $U : U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 表示对设计概念评估的多种指标集合。

评语集 $Q : Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$, 表示对设计概念评估的等级分类集合。

隶属向量模糊矩阵 W 。 $W = \{w_{1,1}, w_{1,2}, \dots, w_{in,j}\}$, 其中 w_{in} 是设计概念在评估指标 U_n 下对评语 Q_n 的一致程度, 是确定模糊综合评价法的关键。

权重向量集 $A : A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 其中 $0 < a_n < 1$, 反映各评估指标的重要系数。

如果各因素集的隶属向量 W 和每个因素集的权重向量 A 已知, 根据模糊集理论, 综合评价结果 D 表示为:

$$D = A \cdot W = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n) \cdot \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & w_{1,3} & \dots & w_{1,j} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & w_{2,3} & \dots & w_{2,j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{i,1} & w_{i,2} & w_{i,3} & \dots & w_{i,j} \end{bmatrix} = (d_1, d_2, d_3, \dots, d_n)$$

以门构件为例, 依据最大隶属度原则, 设评估指标集 $U = \{\text{尺寸大小是否合适, 材质, 耐用度, 外观}\}$ 。使用层次分析法, 在 [1,0] 内给权重系数 a_n 赋值为 $a_1 = 1, a_2 = 0.7, a_3 = 0.8, a_4 = 0.9$, 对门的概念方案进行收敛与功能性评估, 结果见表1。

表1 概念方案功能性评估结果
Tab.1 Results of functional evaluation of conceptual scheme

编号	概念方案	得分
1		82
2		81
3		86
4		87
5		83
6		84

评估结果如下: 6 个方案得分均大于 60 分, 该产品符合工业生产要求。

3.2 感性意象评估

随着感性消费时代的到来，除了考虑产品的功能，消费者更希望产品能展现自己的个性、身份、价值观，设计已逐渐步入“形式与功能同等重要”的时代。设计者在评估产品时，深度挖掘用户的感性知识是极其重要的。

1) 搜集感性词汇。通过查阅书籍、文献等，获得大量描述门构件的感性词汇，然后采用聚类分析法筛选出 6 组感性词汇，并给予反义配对，见表 2。

表 2 6 组感性词对
Tab.2 Six groups of Kansei words

编号	感性词对	
1	简洁的	复杂的
2	对称的	不对称的
3	民族的	大众的
4	现代的	传统的
5	有文化底蕴的	通俗的
6	精致的	粗糙的

2) 多维特征解构。产品激发用户情感是由人的视、听、嗅、触等多感官通道共同作用的结果^[10]。依据交互设计研究者 Alan Cooper 提出的外观的、行为的和内涵的三层次理论，从产品外观、使用交互、精神内涵 3 个层面对概念方案多维特征进行 HIEs 解构，见图 4。

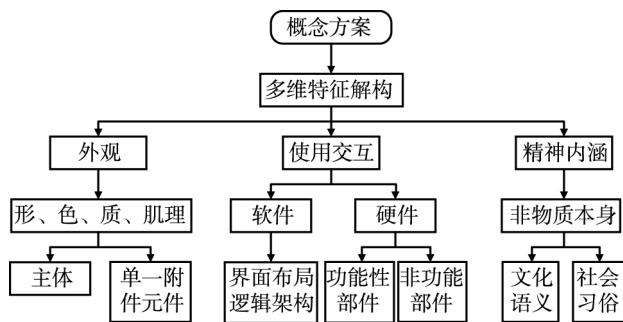


图 4 产品多维特征解构框架

Fig.4 The framework of product multidimensional feature deconstruction

以门构件概念方案 2 为例，应用 HIEs 解构方法，从外观层面“形色质肌”、“文化内涵”层面进行多维特征解构，见表 3 和表 4。此方法同样适用于其他概念方案设计特征解构。

3) 构建感性意象认知空间。在多维解构特征基础上，对门构件方案 2 进行感性评估实验，受试者为 40 名学生，其中 20 名为设计学专业，20 名非设计专业。运用 7 点等级量表和语义差异法对 46 个 HIEs 解构特征感性评价，每位受试者对每个 HIEs 都有一个

表 3 “形色质肌” TNR 解构

Tab.3 "Shape, color, material, texture" HIEs deconstruction

编号	类别	HIEs
1	门体	正面面积
2		顶面面积
3		侧面面积
4		长宽高比
5		正面与上部倒角曲率
6		正面与下部倒角曲率
7		侧边与正面连接曲率
8		边框装饰线高度
9		边框装饰线宽度
10		色彩彩度
11		色彩明度
12		材质透明度
13		主要色彩冷暖性
14		色彩数目多少
15		材质光泽度
16		材质质感
17		材质的肌理
18		触觉门体的肌理感强弱
19	把手	尺寸大小
20		形式
21		颜色彩度
22		颜色明度
23		材质光泽度
24		材质的肌理感强弱
25		色彩冷暖性
26		倒角的曲率
27		材质的衔接形式
28		装饰线的尺寸
29		装饰线宽度
30		把手与门体尺寸比例
31	装饰物	色彩冷暖
32		材质
33		材质光泽度
34		肌理感受强弱
35		精致程度
36		加工工艺

表 4 “文化内涵” TNR 解构

Tab.4 "The cultural connotation" HIEs deconstruction

编号	类别	HIEs
37	装饰物	主体纹样
38		主体纹样图腾语义
39		主体纹样变换
40		辅助纹样
41		辅助纹样图腾语义
42		辅助纹样变换
43		构图框架纹样
44		构图框架纹样图腾语义
45		构图框架纹样变换
46		构图准则

感性词汇等级值,以此构成复杂高维的感性意象认知空间。则第 m 位受试者对第 n 组感性词汇下所有样本的意象认知评价矩阵如下所示。

$$B = \begin{bmatrix} B_{1,1}^{m,n} & B_{1,2}^{m,n} & B_{1,3}^{m,n} & \cdots & B_{1,j}^{m,n} \\ B_{2,1}^{m,n} & B_{2,2}^{m,n} & B_{2,3}^{m,n} & \cdots & B_{2,j}^{m,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ B_{i,1}^{m,n} & B_{i,2}^{m,n} & B_{i,3}^{m,n} & \cdots & B_{i,j}^{m,n} \end{bmatrix}$$

其中: $B_{i,j}^{m,n}$ 为第 m 位受试者对第 n 组感性词汇,第 i 个评估样本,第 j 个解构特征的情感评价。则 q 位受试者对第 n 组感性词汇,第 i 个评估样本的情感

评价均值为 $\bar{B} = \frac{\sum_{m=1}^q \sum_{j=1}^r B_{i,j}^{m,n}}{qr}$, r 表示实验样本被 HIEs 解构的总数目。

运用主成分分析法对门构件的 HIEs 解构特征分群处理,找出对情感意象影响效果显著的 HIEs。假设有 n 个维度特征,每个维度有 h 个综合指标 F_1, F_2, \dots, F_n , 得到如下线性关系:

$$\begin{cases} F_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1h}x_h \\ F_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2h}x_h \\ \vdots \\ F_n = a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nh}x_h \end{cases}$$

则满足要求的综合指标 F_1, F_2, \dots, F_n 是主成分 HIEs。

4) 构建多维设计特征与感性意象的映射模型。使用多元线性回归方法构建多维设计特征 x 和感性意象 y 之间的映射关系模型:

$$y_i = k_1x_{i1} + k_2x_{i2} + \cdots + k_fx_{if} + \varepsilon_i \quad i=1,2,\dots,z \quad (1)$$

式中: z 为样本总个数, k 为线性系数, f 为主特征个数, ε_i 为随机误差。

将每组感性词汇的情感评价均值 \bar{B} 与 HIEs 主特征解构量化值 F_n 输入 SPSS 软件,带入多元线性回归表达式计算,得到感性意象与设计特征之间的映射关系。以“民族的”为例,函数关系式为:

$$y_1 = 0.245x_1 - 0.124x_{13} + 1.432x_{16} - 0.357x_{18} + 0.350x_{27} + 1.454x_{30} + 1.446x_{37} + 0.544x_{46} \quad (2)$$

对上述分析,设计方案中同时具备造型特征(元件 1 和元件 27)、色彩特征(元件 13)、材质特征(元件 16)、肌理特征(元件 18)、相关关系(元件 30)、文化特征(元件 37 和元件 46),是典型的多维知识模型。其中,元件 1, 16, 27, 30, 37, 46 对“民族的”有积极作用;元件 13, 18 有消极作用。

将上文中此方法,应用于其他构件的概念方案进行评估,以此建立具有不同意象风格的木质民居,具有“简洁的”情感意象的木质民居概念方案,见图 5。

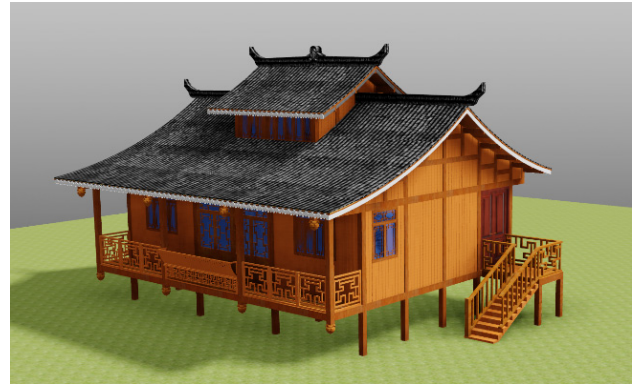


图 5 “简洁的”情感意象木质民居概念方案图
Fig.5 "Simple" emotional image of the concept of wooden residential program

4 结语

多维可拓感性工学模型使设计者更加科学地获取定性和定量的产品设计知识。运用可拓基元原理对产品多维设计知识表征,在概念生长阶段用发散树法进行思维发散,最后运用模糊综合评价法和多维感性工学对概念方案进行收敛评估。此方法已成功运用于黔东南木质民居大规模个性化定制项目开发,为其设计过程提供有效的方法指导。

参考文献:

- [1] DEMIRTAS E A. Determination of Optimal Product Styles Byorinallogistic Regression Versus Conjoint Analysis for Kitchen Faucets[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2009, 39(5): 866—875.
- [2] 库尔特·考夫卡. 格式塔心理学原理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2010.
KURT K. Gestalt Psychology[M]. Beijing: Peking University Press, 2010.
- [3] 胡伟峰, 赵江洪. 用户期望意象驱动的汽车造型基因进化[J]. 机械工程学报, 2011, 47(16): 176—181.
HU Wei-feng, ZHAO Jiang-hong. Automobile Styling Gene Evolution Driven by Users Expectation Image[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(16): 176—181.
- [4] 苏建宁, 王瑞红, 赵慧娟. 基于感性意象的产品造型优化设计[J]. 工程设计学报, 2015, 22(1): 35—41.
SU Jian-ning, WANG Rui-hong, ZHAO Hui-juan. Optimization Design of Product Modeling Based on Kansei Image[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2015, 22(1): 35—41.
- [5] 刘征宏, 谢庆生, 黄海松. 多维变量感性工学模型构建及其性能评估[J]. 四川大学学报, 2016, 48(2): 198—200.
LIU Zheng-hong, XIE Qing-sheng, HUANG Hai-song. Construction and Performance Evaluation for Mul-

- ti-dimensional Variable KE Model[J]. Journal of Sichuan University, 2016, 48(2): 198—200.
- [6] 刘玲玲, 薛澄岐. 面向多维 KE 模型构建的产品特征解构方法[J]. 工程设计学报, 2014, 21(4): 323—328.
LIU Ling-ling, XUE Cheng-qi. Product Feature Deconstruction Method by Constructing a Multi-dimensional Kansei Engineering Model[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2014, 21(4): 323—328.
- [7] HAN S H. A Systematic Approach for Coupling User Satisfaction with Product Design[J]. Ergonomics, 2003, 46(13/14): 1441—1461.
- [8] 郭劲峰, 袁哲. 儿童家具材质的感性工学分析与研究[J]. 家具与室内装饰, 2015(11): 100—103.
GUO Jin-feng, YUAN Zhe. Analysis and Research on the Material of Children Furniture[J]. Furniture & Interior Design, 2015(11): 100—103.
- [9] 吕健, 刘征宏. 基于语义关联度的产品可拓实例推理方法研究[J]. 制造业自动化, 2015(8): 38.
LYU Jian, LIU Zheng-hong. Product Extension Case Reasoning Based on Region Semantic Correlation[J]. Manufacturing Automation, 2015(8): 38.
- [10] TSAI H C, TSENG S W, TSAI H J. Evolutionary Shape Design Using Genetic Algorithms[J]. Advanced Science Letters, 2011, 4(10): 3013—3017.