

# 基于感性工学的产品质感调和设计模型研究

乔现玲, 余晓庆, 李阳, 胡志刚  
(陕西科技大学, 西安 710021)

**摘要:** **目的** 运用感性工学和BP神经网络构建产品质感调和设计模型。**方法** 通过多维尺度分析和聚类分析, 分析出了最适合于描述质感调和的代表性感性意象词汇集; 通过统计分析, 确定了以透明度、光泽度和粗糙度及其细分类目为元素的质感调和空间; 通过质感调和实验, 获得了针对实验样本的质感空间特征值和感性评价值; 最后通过MATLAB的BP神经网络工具箱, 建立了基于感性意象的质感调和设计BP模型, 并重新设计检验样本论证了模型的可靠性。**结论** 该模型为后续的计算机辅助质感调和设计系统提供了理论和算法依据, 可以提高产品设计的成功率。

**关键词:** 感性意象; 质感调和; 产品设计; BP神经网络; 质感设计

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)14-0068-05

## Product Texture Harmony Design Model Based on Kansei Engineering

QIAO Xian-ling, YU Xiao-qing, LI Yang, HU Zhi-gang  
(Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

**ABSTRACT:** A product texture harmony design model was built based on the kansei engineering and the BP neural network. The representative kansei words that were most suitable to describe the texture were selected by multidimensional scaling analysis and cluster analysis. Through statistical analysis, texture harmony space was determined with degree of transparency, gloss, roughness and other disaggregated classifications as elements. Texture space characteristic value and kansei appraisal value of sample were obtained through texture harmony experiment. Finally the texture harmony design BP model was worked out based on the kansei image via BP neural network tools box of MATLAB, and then the sample was redesigned and verified to demonstrate the reliability of the model. The model provides the theory and algorithm basis for the subsequent computer-assisted texture harmony design system, and also improves the success rate of product design.

**KEY WORDS:** kansei image; texture harmony; product design; BP neural network; texture design

从工业设计角度看, 当前市场竞争已由原来物质功能竞争慢慢演变成了用户体验和产品文化等的精神功能竞争。产品的造型、色彩和质感是体现产品精神功能的主要媒介。当前学术界对产品造型和色彩的研究较多<sup>[1-7]</sup>, 获得了很丰富的研究成果, 但在质感方面的研究相对较少。质感是用户对产品感知思维结构中的重要因素之一<sup>[8]</sup>, 不同质感会产生不同视觉或

触觉意象<sup>[9-11]</sup>, 质感能有效提升产品的形象。

感性工学能在用户的感性意象和产品的设计要素间建立映射关系, 将精神层面的意象转换成为形态上的特征<sup>[12-14]</sup>, 从而辅助设计师更好地实现用户精神期望。感性工学方法中常用多元线性回归的方法, 建立意象和造型之间的映射关系, 这很大程度上局限了感性工学的应用范围。在非线性模糊问题上,

收稿日期: 2016-01-18

基金项目: 陕西省科学技术研究发展计划项目(2015GY179、2014KE050049); 陕西省咸阳市科技研究项目(2014K03-14)

作者简介: 乔现玲(1976—), 女, 陕西人, 陕西科技大学讲师、硕士生导师, 主要研究方向为应用人机工程学、设计管理。

灰色理论<sup>[15]</sup>、BP 神经网络等是常用的方法。质感调和是一个复杂的多因素问题，采用多元线性回归会简化问题，但也导致模型误差较大。这里综合运用感性工学、统计学和 BP 神经网络解决产品设计中质感调和设计方法与模型问题。

### 1 质感调和

质感调和概念引申于色彩调和，是指产品设计时对两种或两种以上的质感进行合理搭配设计，使之产生和谐效果与美感。质感是产品设计时必须考虑的因素，与造型和色彩构成了造型设计的三要素。

### 2 质感调和关键技术

在产品设计时，质感调和的成功与否，关键在于所采取的质感搭配方案是否在用户心里产生预设的情感共鸣，因此，质感搭配方案和用户感性意象间的映射关系，就成为了质感调和研究的重点。为了获得映射关系，需要解决 3 个关键问题：构建产品质感的感性意象集、构建产品质感调和空间和构建目标意象与质感调和的关联模型。这里对这 3 个问题分别采用以下技术解决处理。

#### 2.1 产品质感感性意象集

通过搜集国内外心理学、感性工学、材料学、美学等学科的研究成果，收集各类感性意象词汇（形容词）；通过意向尺度法，筛选出适用于描述产品质感的感性意象词汇（形容词）；通过多维尺度分析和聚类分析法，得到产品质感感性意象集  $KS (ks_1, ks_2, \dots, ks_n)$ 。

#### 2.2 产品质感调和空间

透明度、添加剂、表面肌理（粗糙或光滑）以及光泽度是构成产品质感的 4 个要素。设计调查问卷让被试选择这 4 个要素中认为最重要的一个或多个要素。通过统计分析，得到最具代表性的产品质感调和设计要素。然后将产品质感的设计要素进一步划分出不同类目，最终构成质感调和空间  $TR=\{E_1, E_2, \dots, E_n\}$ ,  $E_n=\{T_{n1}, T_{n2}, \dots, T_{nk}\}$ 。

#### 2.3 基于感性意象的质感调和设计 BP 模型构建

基于感性意象的质感调和设计 BP 模型，就是采

用 BP 神经网络模拟构建目标意象集与产品质感调和空间之间的非线性模糊关系模型。采用单隐层的 BP 神经网络模型，输入层为产品的质感调和空间特征量，输出层为产品的感性评价值。预先设计包含不同质感调和空间的实验样本，借助 Matlab 的 BP 神经网络工具箱完成实验样本的训练，最终构建关联模型。产品质感意象空间到产品质感调和空间的映射见图 1。

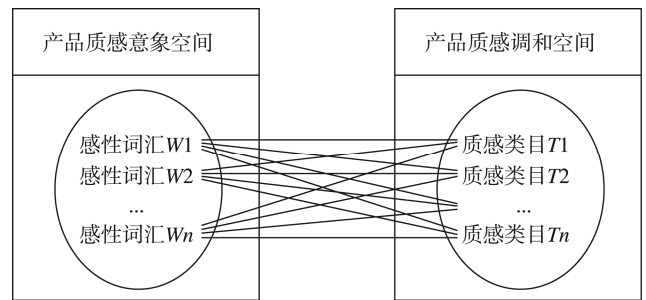


图 1 产品质感意象空间到产品质感调和空间的映射  
Fig.1 Mapping from product texture image space to product texture harmony space

### 3 实例研究

以电热水壶为案例，构建用户的感性意象与质感调和空间之间的关系，据此研究符合用户感知意象的产品质感调和设计方法。研究过程见图 2。

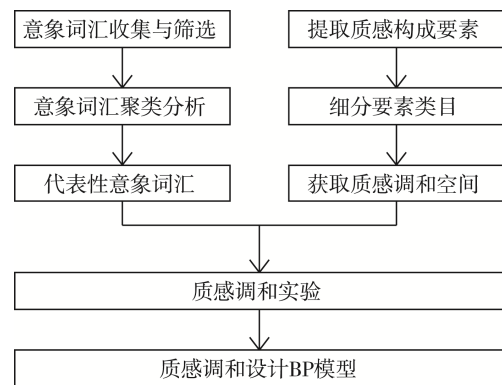


图 2 研究过程  
Fig.2 Research process

#### 3.1 产品质感的感知意象集获取

用文献归纳法整理和归纳得到适用于描述产品质感的感性意象语意词汇（形容词）101 个。选择拥有 3 年以上工作经验的工业设计师及工业设计专业的研究生和导师完成 52 份有效调查问卷，得到与质感语义贴切度最高的 19 个词汇。

邀请 25 名受访者填写调查问卷，使用 SPSS 软件进行多维尺度分析和聚类分析，将 19 个意象词汇

分为 5 群。选取每个集群中相距中心坐标最近的意象词汇作为该集群的代表词, 最终得出描述产品质感的代表性意象词汇为: 现代的、稳重的、细腻的、简洁的、光亮的。

### 3.2 质感调和空间构建

设计调查问卷, 邀请 50 名受访者在透明度、添加剂、表面肌理、光泽度这 4 个要素中, 选出认为最重要的一个或多个要素。统计数据的结果, 透明度、光泽度和表面肌理(粗糙度)的累计频率在 80% 区间内, 依据二八原理得到产品质感调和设计中主要要素为透明度、光泽度和粗糙度。

将透明度、光泽度和粗糙度 3 个主要要素根据其取值细分出不同类目, 并将类目对应 Vray 渲染器











中的折射值、反射光泽度和粗糙度进行数值化。在 Vray 渲染器中的折射值  $T$  采用最大最小法, 依据公式(1)进行归一化处理, 即将所有数值全部转换为  $[0, 1]$  区间内的数值。

$$T = \frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (1)$$

### 3.3 质感调和实验与结果

实验以电热水壶为例, 制作样本 38 个, 为规避色彩和造型对质感样本的干扰, 样本采用同一造型, 色彩上进行灰度处理。邀请 25 名专家填写调查问卷, 投票选取出不同质感特征量组合的最有代表性的实验样本 10 个, 10 个实验样本的质感调和空间的特征量见表 1。

表 1 10 个实验样本的质感调和空间的特征量  
Tab. 1 Characteristic quantity of texture harmony space of 10 samples

样本		质感调和空间特征量								
编号	图示	T11	T12	T13	T21	T22	T23	T31	T32	T33
1		1.00		0.00			0.00			0.00
2		0.80					0.00			0.20
3		0.72				0.60		0.80		
4		0.72	0.52		0.80				0.60	
5			0.40		0.80				0.40	
6		0.72	0.40				0.20	1.00		0.60
7			0.40			0.60				0.00
8			0.52			0.60			0.60	
9			0.32		1.00			0.80		
10				0.00		0.40				0.20
		0.72		0.08			0.20			0.00
				0.08	1.00			0.80		
				0.08						0.00
				0.08						0.00
				0.08						0.20

借助 E-prime 软件设计样本的感性评价实验。邀请不同群体的受访者对 10 个样本与感性词汇“稳重的”进行感性评价，通过数字键盘的“1”、“2”、“3”、“4”、“5”进行打分，分值越大即样本的感性意象越倾向“稳重的”。统计 54 份有效实验输出结果，求取各个样本意象评价的平均分，即为每个样本相对应的感性评价价值。同样对实验样本的感性评价价值进行归一化处理，10 个实验样本的质感调和空间特征量与其感性评价价值见表 2。

表 2 10 个实验样本的质感调和空间特征量与其感性评价价值  
Tab. 2 Characteristic quantity of texture harmony space and perceptual evaluation date of 10 samples

样本	质感调和空间特征量						感性评价价值
1	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.80	0.00	0.20	0.72	0.60	0.80	0.14
3	0.72	0.40	0.80	0.52	0.80	0.60	0.26
4	0.40	0.80	0.40	0.08	0.20	0.40	0.36
5	0.40	0.20	0.60	0.72	0.80	1.00	0.47
6	0.40	0.60	0.00	0.52	0.60	0.60	0.59
7	0.32	1.00	0.80	0.00	0.40	0.20	0.64
8	0.08	0.40	0.00	0.52	1.00	0.80	0.88
9	0.08	0.20	0.00	0.72	0.40	0.60	0.78
10	0.00	0.00	0.00	0.08	0.20	0.20	1.00

### 3.4 基于 MATLAB 的质感调和设计 BP 模型构建

本实验采用 BP 神经网络模拟构建目标意象与家电产品质感调和设计间的非线性模糊关系模型，采用 Matlab 软件通过调用 BP 神经网络的相关参数学习和训练以得到仿真模型。模型采用单隐层的 BP 网络，输入层为 10 个电热水壶实验样本的质感调和空间特征量，输出层为各个样本的感性评价价值。

运行调用函数，网络对 10 个实验样本进行训练，训练进程会持续到网络的输出误差在事先设定好的范围内或是超出事先设定的训练次数才终止，训练结果见图 3。本网络模型在经历 142 次训练后，网络的误差是 0.000910，在网络事先设定的目标误差 0.001 以内，网络对实验样本的训练达到要求，基于感性意象的质感调和设计 BP 模型构建完成。

### 3.5 质感调和设计 BP 模型验证

为了验证质感调和设计 BP 模型的可靠性，研究人员重新制作一组检验样本，用检验样本检验该模型的输出结果和实际结果间的误差能否达到标准，如若达到标准则证明该模型是合理的。5 个测试样本

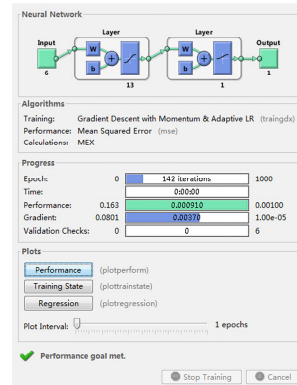


图 3 训练结果

Fig.3 Training results

的质感调和空间特征量与其感性评价价值见表 3。

表 3 5 个测试样本的质感调和空间特征量与其感性评价价值  
Tab. 3 Characteristic quantity of texture harmony space and perceptual evaluation date of 5 test samples

样本	质感调和空间特征量						感性评价价值
1	0.80	1.00	0.50	0.08	0.20	0.20	0.32
2	0.00	0.60	0.00	0.32	0.60	0.60	0.88
3	0.40	0.00	0.20	0.32	1.00	0.80	0.61
4	0.72	0.20	0.40	0.32	0.40	0.40	0.45
5	0.08	1.00	0.50	0.08	0.00	0.00	0.96

运行函数得到的输出结果  $Y$  为 0.3082, 0.9232 0.6307, 0.4316, 1.0013。由输出结果与感性评价调研的感性评价价值求取相对误差，由 BP 神经网络的输出误差曲线，见图 4，可知该模型测试后的误差率在 3.4% ~ 4.9%，即正确率达到 95.1% ~ 96.6%，证明本质质感调和设计 BP 模型的准确度较高，可用于后续计算机辅助质感调和意象决策系统的开发。

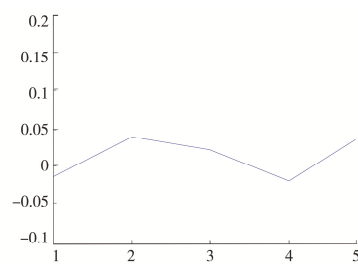


图 4 误差曲线

Fig.4 Error curve chart

## 4 结语

在产品质感设计过程中，透明度、光泽度和表面肌理是影响质感搭配整体效果的主要因素，并且在质感调和过程中，不能单一使用其中任何一个因素，需要合理配置 3 个要素。

这里通过具体案例的实验设计,验证了产品质感调和设计方法的可行性。用户对家电产品的情感表达具有模糊性和感性化的特点,难以用一般的线性关系模型直接表述。本文研究的质感调和设计方法,为计算机辅助质感调和意象决策系统的开发提供了理论BP模型,通过模型的构建以引导产品质感的感性设计,向设计师在产品开发阶段提供科学合理的感性概念模型,辅助设计师科学、合理、高效地获取满足目标意象的质感设计方案,降低家电产品设计时质感运用的不确定性,强化产品的意象传达。

### 参考文献:

- [1] 刘刚田,曹慧敏,崔凤奎.面向用户设计的产品造型方法[J].河南科技大学学报(自然科学版),2012(2):34—37.  
LIU Gang-tian, CAO Hui-min, CUI Feng-kui. Product Modeling Method of User-oriented Design[J]. Journal of Henan University of Science and Technology(Natural Science), 2012(2): 34—37.
- [2] 苏建宁,王瑞红,赵慧娟,等.基于感性意象的产品造型优化设计[J].工程设计学报,2015(1):35—41.  
SU Jian-ning, WANG Rui-hong, ZHAO Hui-juan, et al. Optimization Design of Product Modeling Based on Kansei Image[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2015(1): 35—41.
- [3] 侯冠华.产品造型基因意向模型的建立及其应用[J].机械设计,2014(3):105—109.  
HOU Guan-hua. Establishment and Application of Gene Intention Model of Product Modeling[J]. Journal of Machine Design, 2014(3): 105—109.
- [4] 郭磊,吉晓民,胡钢,等.基于RFFD多通道变形的产品造型设计方法[J].机械科学与技术,2013(11):1633—1637.  
GUO Lei, JI Xiao-min, HU Gang, et al. Designing Product Form Based on RFFD and Multi-channel Deformation[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2013(11): 1633—1637.
- [5] 丁满,孙伟,徐江,等.考虑色彩意象不明确的产品色彩模糊优化设计[J].机械工程学报,2011,47(12):185—190.  
DING Man, SUN Wei, XU Jiang, et al. Product Color Fuzzy Optimum Design Considering Color Image Uncertainty[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011,47(12): 185—190.
- [6] 庞野营.日用小家电色彩偏好的眼动评价研究[J].包装工程,2015,36(2):97—100.  
PANG Ye-ying. The Eye Movement Evaluation of Daily used Electrical Appliances Color Preference[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(2): 97—100.
- [7] 刘志斌,姚君,王选.基于色彩数据分析的高空作业车产品色彩设计研究[J].包装工程,2014,35(10):74—78.  
LIU Zhi-bin, YAO Jun, WANG Xuan. Product Color Design of Aerial Vehicles Based on Color Data[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(10): 74—78.
- [8] 张艳河,杨颖,罗仕鉴,等.产品设计中用户感知意象的思维结构[J].机械工程学报,2010,46(2):178—184.  
ZHANG Yan-he, YANG Ying, LUO Shi-jian, et al. Mental Construction of User Perception Image in Product Design[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(2): 178—184.
- [9] CHOI K, JUN C. A Systematic Approach to the Kansei Factors of Tactile Sense Regarding the Surface Roughness[J]. Applied Ergonomics, 2007, 38(1): 53—63.
- [10] KARANA E, HEKKERT P, KANDACHAR P. Meanings of Materials Through Sensorial Properties and Manufacturing Processes[J]. Materials & Design, 2009, 30(7): 2778—2784.
- [11] 孙凌云,孙守迁,许佳颖.产品材料质感意象模型的建立及其应用[J].浙江大学学报(工学版),2009,43(2):283—289.  
SUN Ling-yun, SUN Shou-qian, XU Jia-ying. Research and Application of Product Material Texture Image Model[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2009, 43(2): 283—289.
- [12] 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.
- [13] 郭劲锋,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.
- [14] 胡志刚,魏雪婷,乔现玲,等.基于统计学方法的数控机床感性意象研究[J].现代制造工程,2014(8):26—31.  
HU Zhi-gang, WEI Xue-ting, QIAO Xian-ling, et al. Research of CNC Machine Tools Kansei Based on Statistical Methods[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2014(8): 26—31.
- [15] 肖利哲,黄姗.基于灰色理论的均衡决策模型构建[J].统计与决策,2014(13):22—24.  
XIAO Li-zhe, HUANG Shan. A Balanced Decision Model Making Based on Grey Theory[J]. Statistics and Decision Making, 2014(13): 22—24.