

多维变量感性工学模型构建及其性能评估

刘征宏¹, 谢庆生^{1*}, 黄海松¹, 潘伟杰¹, 林 丽²

(1. 贵州大学 现代制造技术教育部重点实验室, 贵州 贵阳 550003; 2. 贵州大学 机械工程学院, 贵州 贵阳 550025)

摘 要:针对传统1维变量感性工学模型实际应用价值不高的问题,提出了多维变量感性工学模型构建方法。构建产品多维造型特征空间和情感意象认知空间,再判定多维造型特征空间主特征,并对主特征进行参数化处理,运用多元回归分析多维造型特征空间与感性设计空间映射函数关系并构建产品的形、色、音、质及相关关系元件的多维变量感性工学模型。以数控机床造型设计为例对模型构建方法进行应用,并通过验证实验和对比实验对其性能进行评估,验证实验用于评估其有效性,对比实验用于评估其优越性。实验结果表明,多维变量感性工学模型具有更高的模型拟合度,更符合人们的实际认知,性能更佳,因此能更好地指导产品情感设计。

关键词:感性工学;多维变量;模型构建;性能评估

中图分类号:TH166

文献标志码:A

Construction and Performance Evaluation for Multi-dimensional Variable KE Model

LIU Zhenghong¹, XIE Qingsheng^{1*}, HUANG Haisong¹, PAN Weijie¹, LIN Li²

(1. Key Lab. of Advanced Manufacturing Technol., Ministry of Education, Guizhou Univ., Guiyang 550003, China;

2. School of Mechanical Eng., Guizhou Univ., Guiyang 550025, China)

Abstract: To improve the practical application value of the traditional one-dimensional variable KE model, the method of constructing multi-dimensional variable kansei engineering (MVKE) model was proposed. Firstly, the space of multi-dimensional modeling features (MMFs) and emotion perception were set up. Next, the main features were determined and parameterized. Then, the mapping function relationship between the space of MMFs and kansei design was analyzed and the MVKE model based on the form, color, sound, material and related components of product was constructed by multiple regression analysis method. Finally, the method of the model construction and the performance evaluation of the model were described by a case of numerical control machine tools form design. The performance of the MVKE model was evaluated by validation experiment and comparative experiment. The validation experiment was used to evaluate the practicability of the model by comparing the values of the prediction and user survey. The comparative experiment was used to evaluate the accuracy between the one-dimensional variable KE model and the MVKE model by judging their goodness of fit. Experimental results revealed that the MVKE model has more excellent performance. It is more according with people's cognitive style, therefore it can aid emotional design effectively.

Key words: kansei engineering; multi-dimensional variable; model construction; performance evaluation

感性工学(kansei engineering, KE)起源于日本,最早运用于汽车领域,主要理论奠基人长町三生对感性工学研究方法、实施手段、原则、规范等进行了详细论述^[1-3]。感性工学在生产实践中也被应用于各个领

域并取得了良好的效果。

在产品设计领域,国内外众多研究者分别根据产品的形状、色彩、材质等造型特征,建立由产品某一类造型特征构成的1维变量KE模型。傅业焘

收稿日期:2015-09-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51475097;51465007);国家科技支撑计划资助项目(2014BAH05F01);贵州省科技计划资助项目(黔科合计Z字[2013]4005;黔科合J字[2013]2108;黔科合LH字[2014]7644);黔发改投资资助项目([2012]2484);贵州大学基金项目资助(贵大人基合字[2012]009)

作者简介:刘征宏(1987—),男,博士生。研究方向:先进制造模式及制造信息系统、数字化设计与制造。E-mail:zehoo_liu@163.com

* 通信联系人 E-mail:290008933@qq.com

等^[4]在感性工学基础上建立了产品族风格意象(心理的意象特征)和外形基因(物理的外形特征)之间的映射模型。韩挺等^[5]运用KE模型对服装面料材质进行研究。王莹等^[6]运用形态分析法的基本原理,对冬季女外套的款式设计要素进行分析,建立设计要素空间及意象语意空间,然后建立数学回归模型。苏建宁等^[7]通过构建KE模型,对产品意象造型进行优化设计。Xu等^[8]针对家电产品造型设计,提出了相应的KE研究方法,并构建其KE模型。柳沙^[9]运用KE模型并结合SD量表对农机产品的色彩感性体验与认知进行了研究。以上研究都对产品设计中某类设计要素进行了深入研究,定量分析了各关键要素对用户情感影响的重要性及贡献度,能在特定的设计场合得到很好的应用效果。而在实际生活中,用户是通过多感觉通道对产品进行多维认知而产生情感意象的。因此,需构建多维KE(multi-dimensional variable KE, MVKE)模型以了解用户真实的情感意象。

在MVKE模型的研究中,林丽等^[10]以人机界面元件为立足点提出一种面向优化KE模型的产品形态解构方法。刘玲玲等^[11]融入认知科学、形态学观点提出一种多感官通道的多维度产品特征解构方法。以上研究对多维KE模型构建提供了一定的理论基础。现有研究运用形态分析法对产品进行解构而获取独立的1维特征,欠缺对产品特征间相关关系的考虑,实际上产品设计特征间的相对位置、组合、布局、尺寸比例、配色等关系是以“整体”的形式向用户传递情感信息的,因此,在构建MVKE模型时也必须考虑。

在以上研究基础上,从用户对产品的实际认知模式出发,首先构建基于产品形、色、音、质及其相关关系等多维造型特征(multi-dimensional modeling features, MMFs)空间,然后在其基础上构建基于多元线性回归的MVKE模型并进行性能评估,结果表明MVKE能明显提高1维KE模型性能,并提高KE模型的实际应用价值。

1 MVKE模型构建

1.1 确定感性词对

选取描述目标产品风格意象的形容词对作为实验变量,以构建关于研究对象特征的多维认知空间。所选形容词必须能从不同层面描述对象认知特性。

首先通过相关文献学习及向相关设计专家咨询获得大量感性词汇;再对收集的感性词汇进行分组,

使用卡片分析法(card system)为每组选择一个具有代表性的词汇^[12];然后运用主成分分析法,根据各指标贡献率选择主要感性词汇;最终得到6~8组感性词对。

1.2 构建MMFs空间

运用文献[10]提出的全局HIEs(人机界面元件)解构方法对产品形态进行解构。根据格式塔的完形结构,增加产品设计特征间的相关关系元件,因此产品的外观形态被解构成6个维度(形、色、质、肌理、声音、相关关系元件)的造型特征空间。文献[10]将案例产品的外观形态分解成具体的HIEs,所有HIEs构成MMFs空间。传统的KE法运用形态分析法分解产品外观形态,形成设计特征空间,并将产品外观形态分解为“项目”和“类别”,形成的是1维维度的形状特征空间^[13]。

1.3 构建情感意象认知空间

情感意象认知空间构建是基于用户调查完成的。首先有目的地选择多个样本,然后使用语意差异7分量表,将MMFs空间中的每一个设计特征与语意差异量表一一对应,形成意象认知实验问卷。

对某一组感性词对而言,通过测试者对HIEs的情感意象认知实验,得到测试者对每个样本的每个HIEs的情感评价价值,构成一个复杂高维的情感意象认知空间。设第 m 个评价者对第 n 组感性词汇评价样本 i 的HIEs情感意象认知向量为 $[A_{i,1}^{m,n} \ A_{i,2}^{m,n} \ A_{i,3}^{m,n} \ \cdots \ A_{i,j}^{m,n}]$,其中, $A_{i,j}^{m,n}$ 为第 m 个评价者对第 n 组感性词汇第 i 个评价样本第 j 个HIEs的情感评价价值,那么,第 m 个评价者对第 n 组感性词汇下所有样本的认知空间如式(1)所示:

$$\begin{bmatrix} A_{1,1}^{m,n} & A_{1,2}^{m,n} & A_{1,3}^{m,n} & \cdots & A_{1,j}^{m,n} \\ A_{2,1}^{m,n} & A_{2,2}^{m,n} & A_{2,3}^{m,n} & \cdots & A_{2,j}^{m,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ A_{i,1}^{m,n} & A_{i,2}^{m,n} & A_{i,3}^{m,n} & \cdots & A_{i,j}^{m,n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

则所有评价者对第 n 组感性词汇的认知构成了高维意象认知空间。在这个高维意象认知空间中,设所有评价者对第 n 组感性词汇第 i 个评价样本的情感意

象评价价值均值为 $\frac{\sum_{m=1}^q \sum_{j=1}^r A_{i,j}^{m,n}}{qr}$,它是实现用户情感需求与多维设计知识之间转换和表达、构建MVKE模型的关键值,其中, q 为参与用户调查的测试者数量, r 为HIEs总数目。

1.4 MMFs空间中的主特征评判

对设计特征进行评判以删除对情感意象没有影

响或影响不大的特征。使用环比法评判主特征。其步骤如下:

1) 在某一组感性词汇下,对案例产品解构体系中的某一类别,设其中一个中等强度元件为标准刺激,并设其关键度为 1。

2) 将其他元件与其作连环式比较,设刺激所引起的感觉是标准刺激的 n 倍或 n 分之几,称为倍比数。

3) 标准元件关键度 1 乘毗邻元件倍比数,得毗邻元件关键度,再乘其毗邻元件倍比数,得其毗邻元件关键度。依此类推,得到该类别中所有元件关键度。

4) 以关键度 1 为基准,关键度大于 1 的元件则判定为主特征。

1.5 主特征参数化处理

MMFs 是构成产品的设计要素,是对产品的定性描述,无法直接应用于构建 MVKE 模型,需对其进行参数化处理,过程如下:设 L 为第 n 组感性词汇的主特征个数, r 为产品 HIEs 总数,设 $\delta(j,n)$ 为第 j 个 HIEs 第 n 组感性词汇在第 i 各样本中的反应,当第 j 个 HIEs 定性数据为第 n 组感性词汇时,则 $x = \delta(j,n) = 1$,否则 $x = \delta(j,n) = 0$,则 L 个主特征在第 n 组感性词对第 i 个样本的所有 x 值构成数组 $([Main(L)])_{i,n}$ 。

1.6 构建基于线性回归的 MVKE 模型

MVKE 模型的构建实际上就是对从主特征到感性设计空间的映射关系进行描述,即以情感意象认知空间的意象认知数值为基础,经模型推论机制形成 MMFs 空间与感性设计空间的映射函数关系,因此,在 MVKE 模型中,MMFs 空间元件 x 为自变量(定性变量,称为解释变量),感性意象评价值 y 为因变量(定量变量,称为预测变量)。可用式(2)表示:

$$Q_n = f\left(\left([Main(L)]\right)_{i,n}, \frac{\sum_{m=1}^q \sum_{j=1}^r A_{i,j}^{m,n}}{qr}\right) \quad (2)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, t$; $j = 1, 2, \dots, r$; $m = 1, 2, \dots, q$; $n = 1, 2, \dots, s$; 其中, t 为样本总数; s 为感性词对总数; q 为测试者总数; r 为 HIEs 总数; Q_n 为第 n 组感性词汇意象的定量化数值,是用户对目标产品第 n 组感性词汇下的定量化描述值; f 为 KE 模型构建的推论机制,即构建 MMFs 空间与感性设计空间映射函数所使用的数据挖掘技术; $([Main(L)])_{i,n}$ 为第 n 组感性词汇、第 i 个评价样本所有主特征对应的参数化数组; $A_{i,j}^{m,n}$ 为第 m 个评价者在第 n 组感性词汇

下对第 i 个评价样本第 j 个 HIEs 的情感意象评价值;

$\frac{\sum_{m=1}^q \sum_{j=1}^r A_{i,j}^{m,n}}{qr}$ 为所有评价者在第 n 组感性词汇下对第 i 个评价样本的情感意象评价值均值。

通过式(2)可知,产品的形、色、音、质等定量化描述形式 $([Main(L)])_{i,n}$ 与用户对产品的情感意

象定量化描述形式 $\frac{\sum_{m=1}^q \sum_{j=1}^r A_{i,j}^{m,n}}{qr}$ 在推论机制 f 作用下,就构成了以 MMFs 为自变量、情感意象为因变量的 MVKE 理论模型。

根据回归分析(regression analysis)理论建立感性词汇与设计元素的线性关系,然后进行定量分析。假定因变量 y_i 与自变量 x_i 线性相关,其中, y 为样本的感性评价值, x 为主特征设计元素,建立函数关系,如式(3)所示:

$$y_i = \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi} + \varepsilon_i \quad (3)$$

其中, $i = 1, 2, \dots, s$, s 为样本总数, p 为 s 个手机样本中所有主特征个数总和减去重复的主特征个数, β 为所求系数, ε_i 为随机误差。根据式(3),构建 MVKE 模型的多元线性回归方程矩阵形式,如式(4)所示:

$$\begin{bmatrix} \frac{\sum_{m=1}^q \sum_{j=1}^r A_{1j}^{m,n}}{qr} \\ \frac{\sum_{m=1}^q \sum_{j=1}^r A_{2j}^{m,n}}{qr} \\ \vdots \\ \frac{\sum_{m=1}^q \sum_{j=1}^r A_{ij}^{m,n}}{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \cdots & x_{p1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \cdots & x_{p2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{1i} & x_{2i} & \cdots & x_{pi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, s$ 。

为避免多重共线性,通过变量胀大因素对多重共线性进行检验,规定纳入回归模型的项目变量胀大因素均低于 10。将每组感性词汇的主特征参数化数组 $([Main(L)])_{i,n}$ 及每组感性词汇每个样本的

情感意象评价均值 $\frac{\sum_{m=1}^q \sum_{j=1}^r A_{i,j}^{m,n}}{qr}$ 输入 SPSS 软件,应用多元线性回归计算,分别构建每组感性词汇的 MVKE 模型。

2 MVKE 模型构建实例

以某企业某类数控机床创新设计为例,应用本方法构建其 MVKE 模型。首先根据前文所提到的方法获得 60 多组感性词对,再使用因子分析法得到 6 组感性词对,如表 1 所示,包括:人性 – 机械、简洁 – 复杂、对称 – 不对称、现代 – 传统、精密 – 粗糙、独特 – 大众。

表 1 筛选后的 6 组感性词对

Tab.1 Six kansei words

序号	形容词对	
1	人性	机械
2	简洁	复杂
3	对称	不对称
4	现代	传统
5	精密	粗糙
6	独特	大众

运用全局 HIEs 解构方法对该数控机床形态进行解构,其步骤如下:

- 1)区分该数控机床的硬界面与软界面,细分硬界面的非功能性部件和功能性部件。
- 2)细分硬界面功能性部件的输入功能部件和输出功能部件。
- 3)区分相关关系元件。

根据以上步骤对数控机床外观形态进行解构得到 96 个 HIEs,解构结果如表 2~5 所示,其中,表 2 为非功能性部件,表 3 为功能性部件的输入功能部件,表 4 为功能性部件的输出功能部件,表 5 为软界面和相关关系部件。

通过用户调查获取用户对数控机床 MMFs 情感意象认知量值。调查对象为经验丰富的设计师 25 名和具有 3 年以上操作数控机床经验的员工 25 名。调查样本为 12 款具有典型代表的数控机床。让受测者在包含 96 个 HIEs 的 6 组感性词汇的标准语意差异 7 分量表上逐一评价。

运用环比法评判主特征,以“人性”为例,在实体类别中,元件 3、4、6、12 为主特征元件。

对主特征进行参数化,以“人性”为例,通过环比法获得共 26 个主特征。在第 1 号样本中,有 25 个 HIEs 定性数据为“人性”,则 $x = 1$;仅有第 9 号主特征的定性数据不为“人性”,则 $x = 0$ 。因此“人性”主特征参数化数组为:

表 2 非功能性 HIEs
Tab.2 Non-functional HIES

编号	类别	HIEs	编号	类别	HIEs
1	实体	实体正面面积大小	23		把手形式
2		实体顶面面积大小	24		把手颜色彩度
3		实体正面与上部倒角曲率	25		把手颜色明度
4		实体正面与下部倒角曲率	26		把手色彩数目多少
5		实体侧边面积大小	27		把手材质光泽度
6		实体侧边与正面连接曲率	28		把手材质的肌理感强弱
7	门体	实体主体颜色的彩度	29	底座	底座面积大小
8		实体主体颜色明度	30		底座长宽比
9		实体主要色彩冷暖性	31		底座颜色彩度
10		实体色彩数目多少	32		底座颜色明度
11		实体材质光泽度	33	操作面板	底座材质质感
12		操控件数目	34		底座材质的肌理感强弱
13		触觉实体材质的肌理感强弱	35		数控操作面板面积大小
14		门体面积大小	36		数控操作面板长宽比
15		门体长宽比	37	装饰物	数控操作面板色彩彩度
16		门体边框装饰线宽度	38		数控操作面板色彩数目多少
17		门体色彩明度	39		数控操作面板颜色明度
18		门体色彩彩度	40		数控操作面板材质光泽度
19	把手	门体材质透明度	41		触觉数控操作面板肌理感强弱
20		门体材质的质感	42		装饰物色彩冷暖性
21		门体的肌理感强弱	43		装饰物的材质光泽度
22		把手尺寸大小	44		装饰物肌理感强弱

表 3 功能性部件的输入性 HIEs
Tab.3 Input HIEs of function

编号	分类	HIEs	编号	分类	HIEs
45	数字输入 按键	数字键尺寸大小	57		电源开关颜色明度
46		数字键面积大小	58		电源开关颜色的彩度
47		数字键长宽比	59		电源开关的肌理感强弱
48		数字键的数字清晰 度	60	操作 旋钮	旋钮的高度
49		数字键的数字大小	61		旋钮面积大小
50		数字键高度	62		旋钮的颜色彩度
51		数字键颜色明度	63		旋钮颜色明度
52		数字键材质光泽 度	64		旋钮材质光泽度
53		按键背景灯亮度	65		旋钮材质质感
54		数字键肌理感强弱	66		旋钮字体清晰度
55	电源 开关	电源开关的尺寸大小	67		旋钮字体大小
56		电源开关面积大小	68		旋钮肌理感强弱

表 4 功能性部件的输出性 HIEs
Tab.4 Output HIEs of function

编号	分类	HIEs	编号	分类	HIEs
69	显示屏	显示屏面积	73	标志	标志颜色数目
70		显示屏转角曲率	74		标志大小
71	警报灯	警报灯尺寸大小			
72		警报灯的色彩数目			

$([Main(26)])_{1,1} = \{1,1,1,1,1,1,1,1,0,1\}$, 通过用户调查获得的用户对 1 号样本“人性”的情感意象评价均值为 $\frac{\sum_{m=1}^{50} \sum_{j=1}^{96} A_{1,j}^{m,1}}{50 \times 96}$ 。以此类推,将每组感性词汇下的主特征参数化数值 $([Main(L)])_{i,n}$ 及每组感性词汇下每个样本的情感意象评价均值 $\frac{\sum_{m=1}^q \sum_{j=1}^r A_{i,j}^{m,n}}{qr}$ 输入 SPSS 软件,即可构建出 MVKE 模型。以“人性”为例,其 MVKE 模型如式(5) 所示:

$$\begin{aligned} y_1 = & 0.207 x_3 - 0.128 x_4 + 1.251 x_6 - 0.367 x_{12} - \\ & 0.105 x_{28} - 0.139 x_{39} + 0.420 x_{54} + 0.394 x_{67} + \\ & 0.216 x_{69} + 0.224 x_{78} + 0.117 x_{93} + 3.581 \end{aligned} \tag{5}$$

表 5 其他 HIEs
Tab.2 Other HIEs

编号	类别	HIEs	编号	类别	HIEs
75	软界面	软界面图像清晰度	86		把手距离门体的空间大小
76		软界面背景灯亮度	87		装饰色彩与主体色彩的协调性
77		菜单字体大小	88		底座色彩与主体色彩协调性
78		图标大小	89		数控操作面板与实体面积比
79		字体色彩冷暖性	90		数控操作面板材质与主体材料差异性
80		软界面背景主体色彩的冷暖性	91		数控操作面板色彩与主体色彩协调性
81		软界面背景灯亮度	92		数字按键布局对称性
82	相关关系	主体与底座的体积比	93		数字按键的数字颜色与按键颜色协调性
83		门与主体面积大小比	94		数字按键材质与操控面板材质的差异性
84		门的色彩与实体的色彩协调性	95		数字按键色彩与操控面板色彩的协调性
85		把手与门体尺寸比例	96		显示屏与操控面板面积比

上述 MVKE 模型中: y_1 为感性词对“人性”的 MVKE 模型; x_i 为第 i 个 HIEs; x_i 的系数表示该元件对感性词汇影响重要性即贡献度;正数表示正面影响,即增加或提高该元件可使产品更具有此类情感;负数表示负面影响,即减少或降低该元件可使产品更具有此类情感。如式(5) 所示,元件 3、6、45、67、69、78、93 对“人性”有正面影响,且元件 6(1.251) 的影响大于元件 54(0.420)、67(0.394)、78(0.224)、69(0.216)、3(0.207)、93(0.117),元件 4、12、28、39 对“人性”有负面影响,降低这些元件可使数控机床更“人性”。

此外,通过对上述 MVKE 模型分析可知,该模型中同时具备形状变量(元件 3)、色彩变量(元件 39)、材质变量(元件 28)、肌理变量(元件 54)、软界面变量(元件 78)、相关关系变量(元件 93),是典型的多维变量 KE 模型。

3 MVKE 模型性能评估

在 KE 模型构建过程中,认知要素和推论机制是影响 KE 模型性能最为重要的 2 个因素。为了评估多维造型特征作为认知要素对 KE 模型性能的影响作用,分别通过实验研究方式和对比研究方式探讨 MVKE 模型的性能。

3.1 基于验证实验的 MVKE 模型性能评估

为了验证 MVKE 模型性能,另选 6 个未包含在前述 12 个样本里的数控机床进行验证。首先,用已构建的 MVKE 模型方程式分别预测 6 个验证样本在 6 组感性词对下的情感意象评价值。另外,30 名实验人员对此 6 个样本的总体意象用 SD 7 分量表打分,得到感性评价的平均值即验证实验值。具体数值如表 6 所示。

表 6 MVKE 模型预测值和实验值

Tab.6 Predicted values of MVKE model and user survey values

		样本 1	样本 2	样本 3	样本 4	样本 5	样本 6
人性	预测值	5.350	4.640	3.954	2.827	5.608	3.851
	实验值	5.261	4.458	4.210	2.682	5.250	4.136
简洁	预测值	3.243	5.350	3.267	4.205	2.236	3.925
	实验值	3.029	5.692	3.564	4.418	2.013	4.207
对称	预测值	4.218	3.982	4.951	5.025	4.253	4.928
	实验值	4.557	4.150	4.708	5.317	4.002	4.817
现代	预测值	5.759	3.541	3.705	4.182	5.120	4.521
	实验值	5.890	3.482	3.844	3.928	5.381	4.608
精密	预测值	5.980	4.548	4.259	2.945	3.618	3.547
	实验值	6.105	4.517	4.085	3.004	3.505	3.627
独特	预测值	5.140	3.010	4.218	4.307	3.878	3.481
	实验值	4.958	3.204	3.995	4.164	4.216	3.649

对 6 组感性词对下的 2 组数据分别进行配对样本 T 检验,成对比较法是指在获得一批成对观察值之后通过对这些数据的配对分析做出统计推断(主要指假设检验)^[14]。本检验的拒绝临界值 $t_{0.995} = 3.428\ 1$,若 $t > t_{0.995}$,则说明 2 种计算方法具有显著差异;反之,若 $t < t_{0.995}$,则说明 2 种方法没有显著差异,即用已构建的数学模型来预测主观评价的得分值可行^[15]。基于以上原理,使用 SPASS 软件对 6 组感性词对进行配对样本 T 检验,得到如表 7 所示结果。结果表明,该 6 组感性词对的 t 值绝对值均小于拒绝临界值 $t_{0.995} = 3.428\ 1$ 。即该 6 组感性词对的预测值和实验值之间没有显著的差异。

表 7 MVKE 模型 t 值

Tab.7 t value of MVKE model

感性词对	人性 - 机械	简洁 - 复杂	对称 - 不对称	现代 - 传统	精密 - 粗糙	独特 - 大众
t 值	0.371	-1.084	-0.297	-0.686	0.188	-0.262

通过以上数据分析,可知 MVKE 模型具有较高的预测能力,初步证明了构建 MVKE 模型的实用性。

下面将 MVKE 模型与 1 维变量 KE 模型进行对比实验,进一步评估其性能。

3.2 与 1 维变量 KE 模型性能对比

传统 1 维变量表达的 KE 模型实际应用价值不高,其主要原因是仅有 1 个维度的变量来描述多维认知形成的情感意象。为了证明 MVKE 模型性能优于 1 维变量表达的 KE 模型,首先构建基于形态的 1 维变量表达的 KE 模型,然后通过 MVKE 模型与 1 维变量表达的 KE 模型两者相关数据比较,从而判断 MVKE 模型的性能。

3.2.1 1 维变量 KE 模型构建

构建 1 维变量 KE 模型时,除了在“构建 MMFs 空间”步骤不同之外,其他步骤均与构建 MVKE 模型类似。运用形态分析法将机床造型特征分解为如表 2 所示的 6 大造型特征,即项目,每个项目由 3 个设计元素构成,即类目,共有 18 个类目,如表 8 所示。

表 8 数控机床造型元素

Tab.8 Design elements of NC machine tools

造型特征	设计元素		
开门方式	对开门	单开门	滑门
前侧面轮廓	平行	内凹	外凸
后侧面轮廓	平行	内凹	外凸
透视窗形状	方形	圆形	全可视
操作面板位置	门右边	门左边	独立式
正面形状	斜面	直面	弧面

然后在机床样本、实验测试者及实验方法一致的情况下,进行情感意象认知实验,将每组感性词对的相关数据输入 SPSS,经多元线性回归计算,获得 1 维变量 KE 模型,以感性词对“人性 - 机械”为例,其 KE 模型如式(6)所示:

$$\begin{aligned} y_1 = & 0.736 x_{(1,1)} - 0.351 x_{(1,2)} - 0.480 x_{(1,3)} + 0.114 x_{(2,1)} + \\ & 0.159 x_{(2,2)} - 0.571 x_{(2,3)} + 1.504 x_{(3,1)} + 0.196 x_{(3,2)} - \\ & 0.827 x_{(3,3)} + 0.282 x_{(4,1)} + 0.345 x_{(4,2)} + 1.074 x_{(4,3)} + \\ & 0.046 x_{(5,1)} - 0.522 x_{(5,2)} + 0.873 x_{(5,3)} + 0.903 x_{(6,1)} + \\ & 0.254 x_{(6,2)} - 0.280 x_{(6,3)} \end{aligned} \tag{6}$$

其中: $x_{(i,j)}$ 为第 i 个项目中的第 j 个类目; $x_{(2,3)}$ 表示第 2 个项目中的第 3 个类目,即“前侧面轮廓”中的“外凸”; $x_{(i,j)}$ 的系数表示该设计元素对感性词汇影响重要性即贡献度,正数表示正面影响,负数表示负面影响。

3.2.2 与 1 维变量 KE 模型对比

用已构建的一维变量 KE 模型计算以上 6 个样本的情感预测值,如表 9 所示。

表 9 1 维变量 KE 模型预测值和实验值

Tab. 9 Predicted values of one-dimensional variable model and user survey values

		样本 1	样本 2	样本 3	样本 4	样本 5	样本 6
人性	预测值	5.724	4.013	3.618	2.605	5.782	3.446
	实验值	5.261	4.458	4.210	2.682	5.250	4.136
简洁	预测值	4.105	5.089	3.923	4.021	2.594	3.758
	实验值	3.029	5.692	3.564	4.418	2.013	4.207
对称	预测值	5.074	3.681	3.429	4.529	4.752	5.255
	实验值	4.557	4.150	4.708	5.317	4.002	4.817
现代	预测值	5.254	3.927	4.585	4.942	5.878	4.546
	实验值	5.890	3.482	3.844	3.928	5.381	4.608
精密	预测值	5.560	4.605	4.397	2.083	3.791	3.318
	实验值	6.105	4.517	4.085	3.004	3.505	3.627
独特	预测值	4.039	3.524	3.161	5.309	5.818	4.926
	实验值	4.958	3.204	3.995	4.164	4.216	3.649

根据表 8 和 9 构建如图 1 所示的 6 组感性词对下 6 个实验样本的 1 维变量 KE 模型预测值、MVKE 模型预测值及实验值的折线对比图,其中,图 1(a)为“人性 – 机械”对比图,1(b)为“简洁 – 复杂”对比图,1(c)为“对称 – 不对称”对比图,1(d)为“现代 – 传统”对比图,1(e)为“精密 – 粗糙”对比图,1(f)为“独特 – 大众”对比图。

图 1 的结果表明 MVKE 模型预测值更接近实验值。同样对 6 组感性词对下的 2 组数据分别进行配对样本 T 检验,结果如表 10 所示。

结果表明无论是 1 维变量还是多维变量其 t 值绝对值均小于拒绝临界值 $t_{0.995} = 3.4281$,说明 2 种模型都有效。而除了第 2 组以外,其余组中多维变量 t 值绝对值均小于 1 维变量 t 值绝对值,说明 1 维变量 KE 模型预测值比多维变量 KE 模型预测值与实验值之间差异更显著,从而进一步说明了 MVKE 模型更实用。

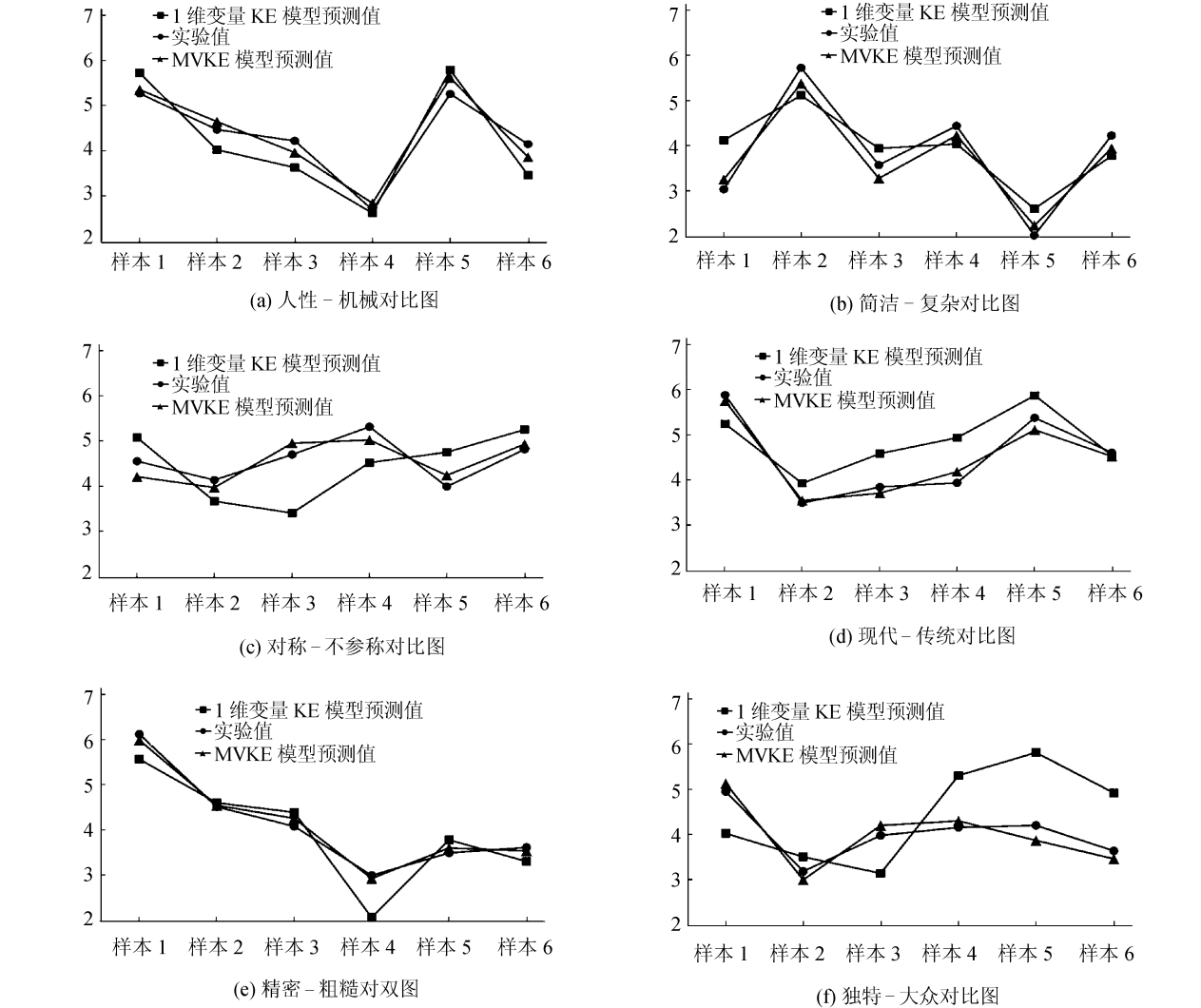


图 1 1 维变量 KE 模型预测值、MVKE 模型预测值及实验值的折线对比图

Fig.1 Predited values by KE,MVKE model and the experimental value

表 10 1 维变量 KE 模型 t 值

Tab.10 t value of one-dimensional variable model

感性 词对	人性－ 机械	简洁－ 复杂	对称－ 不对称	现代－ 传统	精密－ 粗糙	独特－ 大众
1 维变 量 t 值	-0.620	-0.342	0.727	1.374	-0.896	0.963
多维变量 t 值	0.371	-1.084	-0.297	-0.686	0.188	-0.262

进一步比较 2 种模型下多元线性回归的样本决定系数 R^2 , 决定系数 R^2 是表征统计研究结果可信度的重要参数, 一般而言, R^2 的取值范围为 $0 \leq R^2 \leq 1$, 当 R^2 大于 0.7 时, 数量化 I 类分析结果的可信度可以被采纳, 且越接近 1, 该模型的拟合优度越高。2 种模型的 R^2 及 Adjusted R^2 值如表 11 所示, 其中, R^2 都大于 0.7, 且 MVKE 模型的 R^2 明显大于 1 维变量的 R^2 , 其值更接近 1, 即 MVKE 模型的拟合优度更高。以 1 维变量 KE 模型中的“人性－机械”为例, 其 Adjusted R^2 为 0.542, 说明以该感性评价值为因变量 y 的变动中有 54.2% 是由设计元素自变量 $x_{(i,j)}$ 引起的。

表 11 2 种模型的 R^2 和 Adjusted R^2

Tab.11 R^2 and Adjusted R^2 value of the two models

	多维变量 KE 模型		1 维变量 KE 模型	
	R^2	Adjusted R^2	R^2	Adjusted R^2
人性－机械	0.997	0.943	0.951	0.703
简洁－复杂	0.985	0.715	0.923	0.679
对称－不对称	0.996	0.901	0.872	0.575
现代－传统	0.988	0.774	0.854	0.542
精密－粗糙	0.999	0.981	0.886	0.594
独特－大众	0.989	0.793	0.835	0.516

通过验证实验研究和与 1 维变量 KE 模型对比研究, 结果表明 MVKE 模型具有更可靠的情感预测能力及对情感意象的解释能力, 即构建 MVKE 模型, 更符合人们的实际认知模式, 能明显提高 KE 模型的性能。

4 结 论

针对传统的 1 维变量 KE 模型不能完全反映用户对目标产品情感意象认知的问题, 作者首先详细描述了 MVKE 模型构建方法; 然后以某数控机床为例构建其 MVKE 模型; 最后对此模型性能进行了详细评估。MVKE 模型既融合了用户多通道感觉又包含了产品的形、色、音、质及相关关系元件, 且性能评

估结果表明该模型具有更可靠的预测能力, 因此能够在产品感性设计阶段提供有效指导, 提高 KE 模型的实际应用价值。

后续主要研究工作是: 1) 通过产品设计结果对 2 种模型的应用价值进行进一步评估; 2) 通过对其他类型产品进行 MVKE 模型构建及性能评估, 拓展 MVKE 模型应用范围。

参考文献:

[1] Nagamachi M. Kansei engineering [M]. Tokyo: Kaibundo Publishing, 1989: 12-42.

[2] Nagamachi M. Story of kansei engineering [M]. Tokyo: Kaibundo Publishing, 1995: 45-98.

[3] Nagamachi M, Lokman A. Innovation for kansei/affective engineering [M]. Boca Raton: CRC Press, 2010: 45-104.

[4] Fu Yetao, Luo Shijian, Style perception-oriented product family shape gene design [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012, 18(3): 449-457. [傅业焘, 罗仕鉴. 面向风格意象的产品族外形基因设计 [J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(3): 449-457.]

[5] Han Ting, Hu Jieming, Sun Shouqian. Research of consumers' sensory image on fabric material based on consumers' perception [J]. Journal of Textile Research, 2012, 33(5): 140-144. [韩挺, 胡杰明, 孙守迁. 基于消费者感知的面料材质感官意象研究 [J]. 纺织学报, 2012, 33(5): 140-144.]

[6] Wang Ying, Chen Yan. Relationship between perception and designing elements of woman's overcoats [J]. Journal of Textile Research, 2007, 28(11): 97-100. [王莹, 陈雁. 冬季女外套款式感性研究和应用 [J]. 纺织学报, 2007, 28(11): 97-100.]

[7] Su Jianning, Wang Ruihong, Zhao Huijuan, et al. Optimization design of product modeling based on kansei image [J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2015, 22(1): 35-41. [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, 22(1): 35-41.]

[8] Xu Yuqing, Chen Kun, Qin Haibin, et al. Study on the ap-

- plication of kansei engineering in product form design [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 274: 513 – 516.
- [9] Liu Sha. Study on human's sensibility to agricultural machinery's color base on SD scale[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(4): 50 – 54. [柳沙. 基于 SD 量表的农机产品色彩感性体验研究[J]. 农机化研究, 2010(4): 50 – 54.]
- [10] Lin Li, Xue Chengqi, Wang Haiyan, et al. Product form deconstruction method to optimize KE model[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2010, 40(6): 1353 – 1357. [林丽, 薛澄岐, 王海燕, 等. 优化 KE 模型的产品形态解构方法[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2010, 40(6): 1353 – 1357.]
- [11] Liu Lingling, Xue Chengqi. Product feature deconstruction method by constructing a multi-dimensional kansei engineering model[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2014, 21(4): 323 – 328. [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.]
- [12] Schutte S T W, Eklund J, Axelsson J R C, et al. Concepts, methods and tools in kansei engineering[J]. Theoretical Issues in Ergonomics Science, 2004, 5(3): 214 – 232.
- [13] Lin Y C, Lai H H, Yeh C H. Consumer-oriented product form design based on fuzzy logic: A case study of mobile phones[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2007, 37(6): 531 – 543.
- [14] 叶慈南, 曹伟丽. 应用数理统计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 115 – 119.
- [15] 于秀林, 任雪松. 多元统计分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999: 54.

(编辑 黄小川)