

模拟设计思维过程的产品意象形态设计研究

苏建宁, 赵鑫鑫, 景楠, 陈彦蒿

(兰州理工大学设计艺术学院, 甘肃 兰州 730050)

摘 要: 为提高产品意象形态辅助设计过程中的效率和质量, 提出了模拟设计思维过程的辅助方法。通过产品意象形态认知实验, 对设计师的思维过程进行解析, 将其设计活动分解为3个部分: 命题分析、生成创意解、优化创意解。针对其中的关键节点策略, 分别运用层次分析法、有向相似性法、逼近理想解法、神经网络、遗传算法等建立对应的模拟模型, 最后结合复古造型水龙头的设计方案验证了方法的有效性。

关 键 词: 设计思维; 过程模拟; 意象形态; 设计方法

中图分类号: TB 472; TH 166

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2018030547

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2018)03-0547-06

Research on Product Imagery Design by Simulating Design Thinking

SU Jianning, ZHAO Xinxin, JING Nan, CHEN Yanhao

(School of Design Art, Lanzhou University of Technology, Lanzhou Gansu 730050, China)

Abstract: In order to enhance the efficiency and quality in product imagery design, an auxiliary method of simulating the design thinking process is proposed. Through the experiment on conception of the product imagery, the designer's design thinking is analyzed. The design activity can be divided into three parts: analyzing proposition, generating creative solution and optimizing creative solution. For the key node strategy, the corresponding simulation model is established using AHP, directed similarity method, approaching ideal solution, neural network, genetic algorithm and so on. Finally, the effectiveness of the method is verified by the design scheme of the retro-styled faucet.

Keywords: design thinking; process simulation; imagery; design method

设计是一种创造性的活动, 其目的是为物品、过程、服务以及其在整个生命周期中构成的系统建立多方面的品质^[1]。设计具有相对的主观性和不确定性, 不能在理性和方法学上被完全精确描述, 但并不意味着设计过程是无序的黑箱, 解析并模拟设计思维过程对构建产品意象形态设计辅助方法具有较为积极的研究与应用价值^[2]。

1 设计的思维与过程

设计产生过程就是设计产物产生的思维过程,

即设计思维。以文献[3]为代表的设计思维初期研究者认为: 设计是一般的问题解决过程, 并建立了分析-综合-评估线性模型; 万延见等^[4]构造出一套以启发设计者内在思维机制为目的的计算机辅助设计流程; 谭浩等^[5]在分析产品造型设计的基础上, 提出了一个包含自下而上和自上而下的设计信息加工过程模型; 尹碧菊等^[6]研究了设计者在设计进程不同阶段的思维特征和设计策略选择偏好规律, 从宏观层面构建了计算机辅助设计流程。

设计思维的研究可以揭示设计产物生成的思维过程, 剖析杰出设计师的思维理念, 有助于改变

收稿日期: 2017-09-08; 定稿日期: 2017-10-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51465037); 甘肃省自然科学基金项目(1508RJYA084); 红柳杰出人才培养计划(J201406)

第一作者: 苏建宁(1974-), 男, 甘肃康乐人, 教授, 博士。主要研究方向为工业设计、感性工学、智能化设计等。E-mail: sujn@lut.cn

目前过多依赖直觉、经验进行设计的现状，增加对设计内在规律的理解，逐步建立坚实、完善的设计理论体系。

本研究以水龙头造型设计为例，“复古”为目标意象，对设计活动的阶段、设计活动的时间分配等方面进行解析，依据解析结果分别对设计活动顺序、关键设计活动进行模拟，最终在设计应用层面构建出产品意象形态创新设计辅助方法，总体流程如图 1 所示。

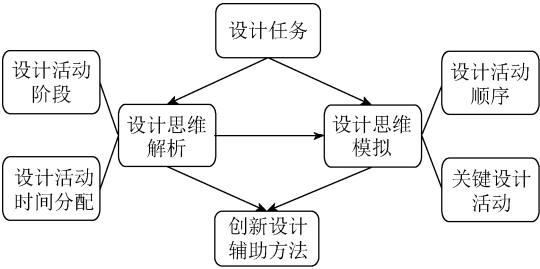


图 1 总体流程图

2 认知实验

2.1 实验准备

为保证被试者可以形成一定规模的设计思维空间，不宜选取过于简单或过于复杂的设计对象。本研究以复古造型水龙头设计为例，选取 2 名具有 5 年以上设计经验的工业设计师作为模拟对象。因学生设计经验缺乏，思维相对约束小，故另选取 4 名高年级工业设计学生作为参照对象，进行认知实验。将 2 名有设计经验的被试者定义为 A 组，4 名无设计经验的被试者定义为 B 组。

2.2 实验实施和数据采集

出声思维法是一种小样本研究方法，具有较高的生态效度，且采用小样本进行认知实验是产品意象形态设计研究中比较常用的方法^[7]。被试者在设计进程中要求全程出声思考并绘制草图，若在 30 s 内没有发声，则主试者对其提醒。实验结束前 15 min，给予提示。实验全程录像和录音，持续时间 60 min。设计方案完成后，分别将每一位被试者的录像、录音、草图转译整理，形成口语分析报告。

2.3 实验数据分段和编码

采用数据分段和编码解析能够清晰地梳理采集到的实验对象复杂数据，对设计过程中设计师思维模式的反映也较为直观。

(1) 数据分段。在数据分段时，主要以被试者语句停顿、语调变化、草图停顿等设计过程中思维的转折点作为分段依据。

(2) 数据编码。采用 GOLDSCHMIDT 和 RODGERS^[8]提出的问题解决策略：①命题分析、②设计进程的总体规划、③收集资料、④与他人讨论、⑤思考解决问题方案、⑥草图绘制、⑦分析可替代方案、⑧评估中期和最终方案、⑨方案陈述，进行数据编码解析。

2.4 实验分析

2.4.1 设计活动的阶段分析

对以上 6 名被试者的实验数据分析见表 1，表明被试者参与的设计活动及其先后顺序。

表 1 设计活动顺序表

步骤	被试者					
	A1	A2	B1	B2	B3	B4
①	1	1	1	1	1	1
②	2	3	2	2	2	2
③	5	5	3	3	4	5
④	3	2	-	-	3	3
⑤	4	4	4	4	5	-
⑥	7	6	6	5	6	6
⑦	6	7	-	7	7	4
⑧	8	8	5	6	8	7
⑨	9	9	7	8	9	8

分析表 1，被试者在设计进程中采取的设计流程不同，但存在共性部分。6 名被试者均参与了设计活动①、②、③、⑥、⑧、⑨，但先后顺序和侧重点不同。设计方案完成后的访谈中，被试者均指出步骤①、⑥、⑧是设计进程中必不可少的 3 个部分。部分被试者指出步骤③也是至关重要的。步骤②内嵌于整个模拟过程中，且暂不考虑步骤⑨，因此应在步骤①、③、⑥、⑧进行重点解析的基础上，构建产品意象造型创新设计辅助方法。

2.4.2 设计活动的时间分配

统计分析两组被试者在各设计活动中的平均参与时间，如图 2 所示。A 组被试者在步骤④、⑦方面比 B 组被试者花费更多的时间，而 B 组被试者将较多的时间花费在步骤③、⑥。结合口语分析报告的数据可以得到以下结论：步骤④、⑦，A 组被试者注重顾客隐性需求的挖掘，并把设计任务总结为若干个关键意象；步骤③，B 组被试者在资料收集时更多地关注于同类型产品，难免会陷入固有产品形态而缺乏创新性，A 组被试者在收集资料时侧重其他相似的产品；步骤⑥，B 组被试者所绘制的草图跳跃性较大，但条理性不强，A 组被试者在设计过程中能快速地产生大量草图方案。

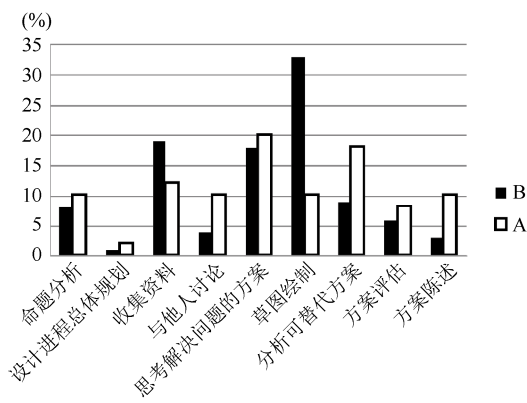


图2 设计活动时间分配图

综上, A组被试者在命题分析时, 充分发掘顾客隐性需求并进行关键词定位, 资料收集时侧重于

相似产品而不是同类产品, 草图绘制时能快速产生大量方案, 而B组被试者对以上3部分较为缺乏。因此以A组被试者的思维流程为主, 对设计思维进行模拟, 可归纳为: 命题分析-与他人讨论-思考解决问题方案-收集资料-分析可替代方案-草图绘制-评估中期和最终方案等7个部分。依据设计进程将其进一步归纳为3个模块, 即命题分析(①、④)、生成创意解(③、⑤、⑦)、优化创意解(⑥、⑧)。

3 产品意象形态辅助系统的构建

基于认知实验的设计思维解析结果, 运用相关理论方法对其进行模拟, 对应关系如图3所示。

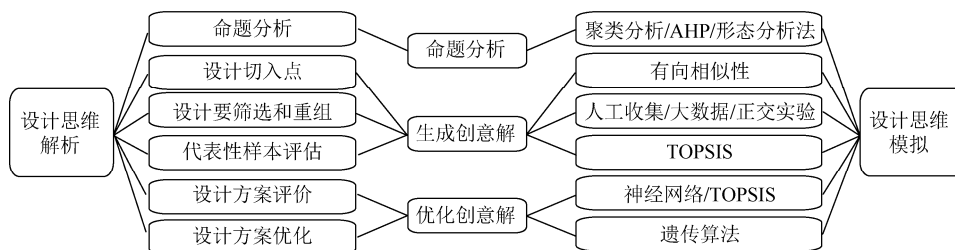


图3 对应关系图

3.1 命题分析

产品带给用户的意象是复杂多样的, 面对一个形态复杂的产品时用户倾向于用多个意象维度来表达对产品主观感受, 而用户对于不同意象的需求程度也存在轻重之分^[9]。因此, 命题分析分3步进行模拟: 代表性感性意象词汇的确定、感性意象词汇权重的确定和产品设计要素辨识。

(1) 代表性感性意象词汇的确定。通过报刊杂志、网络等渠道收集能够代表“复古”造型水龙头的感性意象词汇, 经小组讨论, 初步筛选为雅致、高档、传统、精细、古朴、大气6个词汇, 将其进行相似度调查, 结果经聚类分析, 最终确定雅致、古朴、大气3个代表性感性意象词汇。

(2) 感性意象词汇权重的确定。层次分析法^[10]是一种定性和定量相结合、系统化、层次化的分析方法。依据两两比较的标度和判断原理, 采用二元对比法对同层次的相关指标进行比较赋值, 其步骤如下:

步骤1. 对各意象两两比较构建情感判断矩阵 E 。

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2n} \\ \cdots & \cdots & e_{ij} & \cdots \\ e_{n1} & e_{n2} & \cdots & e_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, e_{ij} 为第 i 个意象相对于第 j 个意象的重要性

赋值。

步骤2. 求意象权重向量 $W=(w_1, w_2, \cdots, w_n)$ 。

$$\tilde{e}_{ij} = e_{ij} / \sum_{i=1}^n e_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$w_i = \sum_{j=1}^n \tilde{e}_{ij} / \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n \tilde{e}_{ij} \right)$$

步骤3. 一致性检验。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{k w_i} \quad (3)$$

$$C_R = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} / R_I \quad (4)$$

其中, M_i 为矩阵 E 与向量 W 相乘所得向量的第 i 个元素值; k 为比较因子的阶数; R_I 为随机一致性指标。若 $C_R < 0.1$, 则认为矩阵具有一致性, 赋予的权重可接受。

由6名被试者对3个意象词汇两两对比, 依据文献^[11]的指标重要程度分级赋值标准, 构建判断矩阵 E , 结果见表2。

通过步骤1~2, 求得雅致、古朴、大气的权重值分别为: 0.279 0、0.649 1、0.071 9。经步骤3一致性检验, $\lambda_{\max}=3.0649$, $C_R=0.0624 < 0.1$, 因此计算结果合理。

表 2 意象词汇判断矩阵

意象词	雅致	古朴	大气
雅致	1	1/3	5
古朴	3	1	7
大气	1/5	1/7	1

(3) 产品设计要素辨识。从系统的角度分析，一件产品包含不同的设计特征，而设计特征又由若干相应的设计要素组成。本研究运用形态分析法，将水龙头的造型解构为：手柄、出水口、主体 3 部分，如图 4 所示。由于要保持水龙头固有属性不变，故出水口形态提取自现有水龙头形态。



图 4 水龙头造型设计要素

3.2 生成创意解

生成创意解即初步设计方案的形成过程，包含寻找设计切入点、设计要素的筛选、重组和代表性样本评估过程。

(1) 设计切入点。寻找设计切入点就是思考问题解决方案的过程，运用相似性联想^[12]可以模拟设计师确定设计切入点的过程。产品意象形态设计是从感性意象到产品形态的映射，基于有向相似性，可意象联想寻找新的适合形态。根据 2 名有经验的被试者提出的资料收集方法，意象联想寻找与水龙头手柄和主体具有相似意象，并能实现其功能的产品形态，筛选后由 6 名被试者依据设计知识及经验对其满意度打分，得到水龙头部件的满意度表，见表 3，与水龙头手柄和主体相似性最高的部件分别是门把手和高脚杯。

(2) 设计要素筛选和重组。根据有向相似性分析，对收集到的样本图片进行筛选、解构、重组，并矢量化处理，如图 5 所示。

从高脚杯形态中提取水龙头主体形态，从门把手形态中提取水龙头手柄形态，水龙头出水口形态取自现有水龙头。

表 3 部件—产品需求满意度表

部件	满意度
水龙头手柄	门把手 0.80
	开关 0.40
	手动工具 0.70
	扶手 0.40
水龙头主体	高脚杯 0.90
	音箱 0.45
	水杯 0.70
	花瓶 0.75

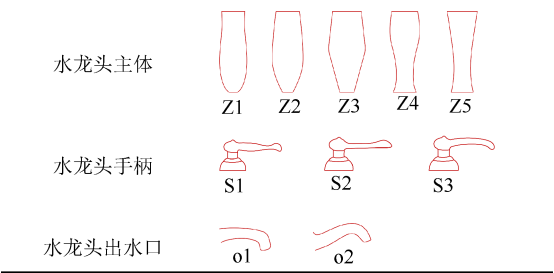


图 5 设计要素表

正交试验设计^[13]是研究多因素多水平的一种设计方法，其是根据正交性从所有可能的组合样本中挑选出部分有代表性的样本进行实验，如图 6 所示。

Z1S201	Z1S302	Z1S101	Z1S201	Z2S102
1	2	3	4	5
Z2S201	Z3S101	Z3S202	Z3S301	Z4S201
6	7	8	9	10
Z4S201	Z4S101	Z4S102	Z4S302	Z5S102
11	12	13	14	15
Z5S101	Z5S202	Z5S301	Z5S201	
16	17	18	19	

图 6 水龙头代表性样本

(3) 代表性样本评估。逼近理想解排序法是系统工程中有限方案多目标决策分析的一种常用方法,根据各被评价对象与最优方案和最劣方案之间的相对距离来确定优劣次序^[14]。计算步骤如下:

步骤 1. 以意象评估值 a_{ij} , 建立初始决策矩阵 $A=(a_{ij})_{m \times n}$ 。其中, a_{ij} 为第 i 个目标的第 j 个属性的评估值。

步骤 2. 对初始决策矩阵进行归一化处理并加权, 建立新的矩阵 $B=(b_{ij})_{m \times n}$ 。

步骤 3. 计算评价对象与最优方案及最劣方案的欧氏距离。

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (b_i^+ - b_{ij})^2} \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (5)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (b_i^- - b_{ij})^2} \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (6)$$

其中, b_i^+ 为最理想的意象加权评价价值, $b_i^+ = \text{Max}(b_{ij})$ ($j=1,2,\dots,n$); b_i^- 为最不理想的意象加权评价价值, $b_i^- = \text{Min}(b_{ij})$ ($j=1,2,\dots,n$)。

步骤 4. 计算各评价对象与最优方案的接近度 C_i 。

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (7)$$

将 C_i 进行排序, C_i 值越大, 评价结果越优。

将正交试验得到的 19 个样本结合 3 个感性意象词汇制成 5 级 SD 调查问卷发放并统计数据, 见表 4。将表 4 中数据通过步骤 1~4 计算, 得接近度 C_i 的排序为: $C_{19} > C_1 > C_6 > C_8 > C_2 > C_3 > C_4 > C_5 > C_{11} > C_7 > C_{13} > C_{14} > C_{12} > C_{15} > C_9 > C_{10} > C_{18} > C_{16} = C_{17}$ 。最优样本为 C_{19} (Z5、S2、O1)。

表 4 意象得分汇总表

样本	雅致	大气	古朴
1	0.429	0.143	0.714
2	0.429	0.429	0.143
3	0.857	0.143	0.714
⋮	⋮	⋮	⋮
18	-0.714	-0.517	0
19	1.714	0.714	0.429

3.3 优化创意解

优化创意解即最终设计方案的形成过程, 包含产品意象形态设计方案的评价和优化过程。

(1) 产品意象形态设计方案评价。人工神经网络是一种旨在模仿人脑结构及其功能的信息处理模式^[15]。由于其特有的非线性信息处理技术, 有效地提高了对于直觉信息处理的能力。应用 BP 神经网络建立消费者对产品的意象感知与产品的造型设计参数之间复杂的关系^[16], 其输入为产品造型设计参数, 节点数为设计的控制参数个数, 输出为用户的感性意象, 其模型为

$$Y = f(W^T X) = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i - b\right) \quad (8)$$

其中, Y 为感性意象; f 为激发函数; W^T 为神经元的连接权值; X 为造型设计参数; X_i 为前一层神经网络的输出; W_i 为连接前一层每个神经元的权值; b 为神经元的阈值。

本文中水龙头形态可由如图 7 所示的 4 个点控制, 共 8 个设计参数。随机选取 15 个样本作为训练样本, 剩余 4 个作为验证样本, 分别建立“雅致”、“大气”、“古朴”3 套神经网络, 经多次训练, 选取准确度最高的作为产品意象形态优化设计的适应度函数。

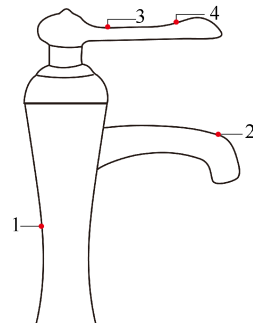


图 7 水龙头形态控制点

(2) 产品意象形态设计方案优化。遗传算法是一种基于自然选择和基因遗传学原理的随机并行搜索算法, 是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法^[17], 已广泛应用于产品造型优化设计^[18], 其模型定义为一个 8 元组:

$$SGA = (C, E, P_0, M, T_s, T_c, T_m, T) \quad (9)$$

其中, C 为产品造型参数; E 为适应度评价函数; P_0 为初始种群; M 为种群大小; T_s 为选择算子; T_c 三维交叉算子; T_m 为变异算子; T 为遗传运算终止条件。

本文中对组合后的最优样本 C_{19} 进行单亲进化, 适应度辅助评价由神经网络和 TOPSIS 组成, 对生成的新样本进行筛选, 如图 8 所示。

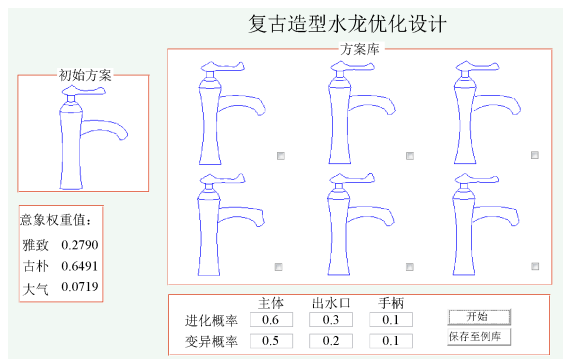


图8 复古造型水龙头优化设计

某一设计师依据设计需求,进行方案优化,快速得到目标设计方案,如图9所示。



图9 目标设计方案

4 结束语

依据认知实验的分析,构建了产品意象形态创新设计辅助方法,并以“复古”造型水龙头设计进行了实例验证研究,可得出以下结论:

(1) 设计师的设计思维可被解构,主要过程分为命题分析、生成创意解、优化创意解3个部分;

(2) 运用相应的方法可对设计师的设计思维进行模拟,建构合理的辅助模型;

(3) 设计思维的模拟对于产品创新设计具有良好的指导意义,可有效提升设计的效率和质量。

由于产品造型设计的复杂性,为进一步完善该辅助系统的运用,还需要进一步研究设计刺激、设计认知等对设计思维的影响,为设计师进行造型设计提供更好地支持和辅助。

参考文献

- [1] 尹碧菊,李彦,熊艳,等.设计思维研究现状及发展趋势[J].计算机集成制造系统,2013,19(6):1165-1176.
- [2] 李彦,刘红围,李梦蝶,等.设计思维研究综述[J].机械工程学报,2017,53(15):1-20.
- [3] BUCHANAN R. Wicked problems in design thinking [J]. Design Issues, 1992, 8(2): 5-21.
- [4] 万延见,李彦,李文强,等.基于认知多方法集成式产品创新设计策略及实现[J].计算机集成制造系统,2014,20(6):1267-1275.
- [5] 谭浩,赵江洪,王巍,等.产品造型设计思维模型与应用[J].机械工程学报,2006,42(s1):98-102.
- [6] 尹碧菊,李彦,熊艳,等.基于概念设计思维模型的计算机辅助创新设计流程[J].计算机集成制造系统,2013,19(2):263-273.
- [7] MARGIT P, GUNTER W, SIMONE K. Using lag-sequential analysis for understanding interaction sequences in visualizations [J]. International Journal of Human-Computer studies, 2016, 96: 54-66.
- [8] GOLDSCHMIDT G, RODGERS P A. The design thinking approaches of three different groups of designers based on self-reports [J]. Design Studies, 2013, 34(4): 454-471.
- [9] 苏建宁,张秦玮,吴江华,等.产品多意象造型进化设计[J].计算机集成制造系统,2014,20(11):2675-2682.
- [10] 苏珂,王硕.产品多意象造型设计研究[J].机械设计,2016,33(3):115-119.
- [11] 鲁丹,张金月.基于层次分析法的BIM内容库网站评价研究[J].图学学报,2015,36(2):298-305.
- [12] 骆雯,邓学雄,赖朝安.基于有向相似性联想的产品创新设计思维方法[J].工程图学学报,2009,30(5):44-48.
- [13] 陈士通,崔晨光,李义强,等.基于作业模式的提梁机有限元仿真分析[J].图学学报,2016,37(4):502-508.
- [14] 张莉,冯定忠,刘鹏玉,等.基于灰数逼近理想解排序法的夹具设计方案评价[J].中国机械工程,2016,27(20):2728-2734.
- [15] 朱大奇.人工神经网络研究现状及其展望[J].江南大学学报,2004,3(1):103-110.
- [16] 苏建宁,王鹏,张书涛,等.产品意象造型设计关键技术进展[J].机械设计,2013,30(1):97-100.
- [17] 于莹莹,陈燕,李桃迎.改进的遗传算法求解旅行商问题[J].控制与决策,2014,29(8):1483-1488.
- [18] 苏建宁,陈肖,张书涛,等.基于进化算法的产品造型创新设计方法研究[J].工程设计学报,2016,23(2):136-142.