

基于参数化的产品单一色彩设计方法

霍丽晓^{1,2}, 檀润华^{1,2}

(1.河北工业大学, 天津 300401; 2.国家技术创新方法与实施工具工程技术研究中心, 天津 300401)

摘要: **目的** 提出一种基于参数化的产品单一色彩设计方法, 研究在单一色彩产品设计中造型—色彩的匹配规律、消费者的喜好规律, 以及这两者之间的关系, 从而实现对单色产品设计中造型—色彩的匹配度和受喜好程度的预测, 以指导设计。**方法** 首先, 通过设计实验, 对造型—单一色彩的匹配度、消费者的喜好程度进行量化、评分, 利用 SPSS 和 MATLAB 软件, 对实验数据进行统计分析和回归分析, 得出相关研究规律, 并且建立数学模型。之后, 进行验证实验, 并将验证实验的结果与上述研究方法的预测结果进行对比, 计算其相对误差, 从而验证研究方法及相关规律的有效性和可靠性。**结论** 验证了实验结果与理论预测的结果基本一致。造型—色彩的匹配程度和受喜好程度基本呈现正相关关系。在适宜范围内的纯度、明度较高的色彩与造型的匹配度越高, 就越受到消费者喜爱。研究方法和实验结果具有有效性、可靠性和可行性, 可为单一色彩产品设计中色彩的选择和运用提供一种预测和指导方法, 以供今后的设计参考和借鉴。

关键词: 单一色彩; 造型; 匹配度; 喜好程度; 参数化

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)20-0200-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.20.033

A Product Monochromatic Design Method Based on Parameterization

HUO Li-xiao^{1,2}, TAN Run-hua^{1,2}

(1.Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;

2.National Engineering Research Center for Technological Innovation Method and Tool, Tianjin 300401, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a product monochromatic design method based on parameterization, and study the modeling-color matching rule and the consumer preference rule in a monochromatic product design and the relationship between them, so that the modeling-color matching degree and preference degree of the monochromatic product design are predictable to guide the design. By designing tests, the matching degree and customer's preference degree of the modeling-single color were quantified and scored. SPSS and MATLAB were used to conduct statistical analysis and regression analysis of the test data, the relevant research laws were obtained and the mathematical model was established. After that, a verification test was conducted. The results of the verification test were compared with the predictions of the above-mentioned research methods and their relative errors were calculated to verify the validity and reliability of the research methods and related laws. The results of the verification test are basically consistent with the theoretical predictions. The modeling-color matching degree is basically positively correlated with the preference degree. The matching degree of the color and the model with higher saturation and brightness within the suitable range is higher and more popular with consumers. The research methods and test results have validity, reliability and feasibility, and can provide a prediction and guidance method for the selection and application of color in monochromatic product design for future reference.

KEY WORDS: single color; modeling; matching degree; preference degree; parameterization

收稿日期: 2019-05-12

基金项目: 国家自然科学基金(51675159); 中央引导地方科技发展专项(18241837G)

作者简介: 霍丽晓(1991—), 女, 河北人, 河北工业大学硕士生, 主攻产品设计理论和创新设计方法、色彩设计。

通信作者: 檀润华(1958—), 男, 河北人, 博士, 河北工业大学教授, 主要研究方向为设计理论与方法、创新设计、TRIZ/C-TRIZ、工程设计方法等。

仿真、虚拟现实、快速原型等新技术在产品中的应用有效地缩短了产品的研发周期,并且降低了设计成本,使设计日益规范化、合理化、科学化。然而在提高产品设计成功率的同时,这也使得市场竞争愈加激烈。面对激烈的市场竞争,以用户为导向的设计显得尤为重要。消费者在选购产品时,常凭借自身的感官印象来做决策,而消费者对产品的整体感知来源于对产品的造型、色彩、质感等知觉的交汇。其中,产品的造型与色彩主导了消费者对产品的视觉感知,是最为直接的感知之一。相关研究表明,色彩要素比造型要素对消费者意象具有更大的影响^[1-2]。色彩已成为产品设计中不可或缺的元素之一,对实现产品价值具有重要的作用。快速、准确、低成本地把握消费者对产品的色彩偏好,制定相应的产品研发策略,运用有效的色彩设计方法,使设计日益合理化,已成为产品设计师们竞相关注的问题之一。这对降低研发成本、提高设计成功率,以及使产品在市场竞争中占有一席之地具有重要的意义^[3]。

1 色彩设计研究现状

近年来,随着色彩设计引起越来越多的关注,相关研究也取得了一定进展。例如,郑晓红等综合运用了色彩调和理论来进行色彩设计。他们通过梳理近现代的色彩调和理论,以及介绍色彩经验金字塔模型,提出了新的色彩调和研究方向^[4]。又如 Tsai Hung-cheng 等利用工程理论、智能算法等,对双色、三色搭配进行了相关研究^[5-6]。胡志刚等运用模糊聚类、灰色理论、神经网络、遗传算法、粒子群算法、邓氏关联法等,预测、生成和评价了产品色彩设计方案^[7-9]。另外,色彩空间之间的映射关系研究也取得了一定进展。如刘乐沁等综合运用了粒子群算法、聚类方法、神经网络,建立了色彩匹配模型,以实现 RGB 和 CMYK 空间之间的转换,解决了彩色印刷中色彩空间的转换问题^[10]。

然而,由于设计相关人员自身知识技能、研发周期与实现成本等方面的限制,上述的研究方法目前基本仍处于理论研究阶段,并未在实际的设计工作中得到广泛的应用^[11]。在实际的产品设计过程中,关于色彩的选择与运用通常依赖于感性因素,如基于设计师的个人经验、个人喜好,或企业形象系统中的标准用色等,而不是依据消费者的喜好。在对色彩设计上,不仅缺少可供参考的相关理论、数据、规律等进行支持,而且缺少实用性、可行性高的色彩设计方法进行指导^[12]。同时,上述研究方法多为研究多种色彩的搭配关系,缺少对产品设计中单一色彩应用规律的研究。然而,在实际生活中,单色产品的需求和数量并不亚于双色、多色产品。例如,交通工具中的汽车、火车、飞机,家电中的冰箱、空调、洗衣机,生活用品中的办公桌椅、水杯、鼠标等的设计中均大量采用

了单色设计。因此,探究成本较低、操作难度较小、可行性较高的产品单一色彩设计方法和规律具有重要的意义。

相关研究表明,消费者更倾向于购买感官印象一致的产品,即视觉、听觉、触觉等感官印象一致性较高的产品更受消费者青睐^[13]。一件优秀的产品不仅要具备合适的造型、适宜的色彩,而且要考虑造型和色彩的匹配关系,因此,应该通过实验、统计分析、回归分析,定性、定量地研究单色产品设计中的视觉感知造型和色彩因素的匹配度,以及消费者喜好程度之间的关系,并得出产品设计中单一色彩的应用规律,以期在今后的设计中,能对消费者的喜好程度进行预测。最后,应通过验证实验,对实验值与理论值进行对比分析,并计算其相对误差,从而验证此研究方法的可靠性。

2 相关色彩理论

色彩分为彩色和无彩色。其中,黑、白、灰为无彩色;其他色彩,如红、黄、蓝等,为有彩色。色相、纯度和明度三个色彩属性被称为色彩三要素。有彩色均可以用色彩三要素进行描述;而无彩色具有明度属性。其中,色相(即色彩相貌),是区分不同色彩的色别的主要因素,如玫瑰红、天蓝色,它们的色相就不相同。纯度指色彩的纯净程度。原色的纯度最高,随着无彩色量的增加,纯度将逐渐降低。例如,正蓝色与淡蓝色的色彩纯度不同。明度指色彩的明亮程度。同一色相的色彩明度可能不同,如柠檬黄、淡黄的明度不同。不同色相的色彩也可能有不同的明度。例如,黄的明度最高;红、绿为中间明度;蓝、紫的明度较低。另外,光线照射的强度也会影响色彩的明度^[14]。色彩三要素见图1。

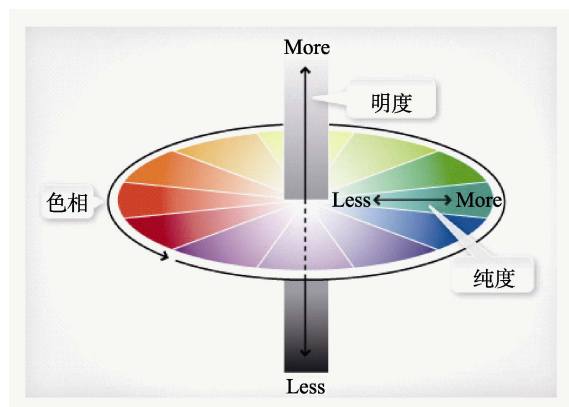


图1 色彩三要素

Fig.1 Three elements of color

使用一组值来表示颜色的抽象数学模型被称为色彩模型。色彩模型主要有 RGB、CMYK、Lab 等。其中,RGB 色彩模型是目前运用最广的颜色系统之一,它通过运用红(Red)、绿(Green)、蓝(Blue)

三个分量来描述颜色，其分量分别用 R、G、B 来表示，其取值范围均为 0~255 间的整数值^[15]。当这三者按照一定的比例混合后，可以得到其他颜色。在 RGB 色彩系统中，色彩三要素相对独立却又彼此影响，互相制约却又密不可分^[16]。参数值和色彩三要素也具有一定联系，通过对 R、G、B 参数值的调整，可以得到不同色相、纯度、明度的色彩。其中，R、G、B 的比例可以影响色相的变化，参数值的大小主要影响着纯度和明度的高低。

3 造型—色彩匹配度及消费者喜好程度实验

此次研究邀请了三十名实验参与者，其年龄范围在 23~30 岁（平均年龄 25.55 岁）。其中，男性参与者十五名，年龄在 25~30 岁（平均年龄 26.8 岁）；女性参与者十五名，年龄在 23~27 岁（平均年龄 24.3 岁）。参与者的性别比例为 1:1。

3.1 实验样本

3.1.1 造型样本

请专业的工业设计师设计了一种车位锁造型，其造型样本见图 2。为减少生活经验和固有观念的影响，在实验中并不告知参与者该造型的产品类别和名称。

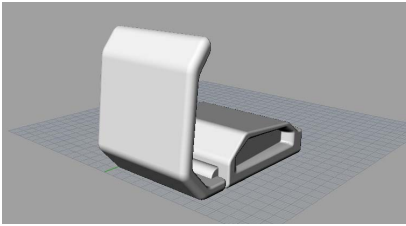


图 2 造型样本
Fig.2 Modeling sample

3.1.2 色彩样本

以基本色彩为例，在 RGB 色彩系统中，分别选取了不同参数值的红色、绿色、蓝色。具体操作方法为：（1）使 R、G、B 三个变量值中的两个变量值为 0；（2）使第三个变量值以 51 为间隔（0~255 之间），从而有规律地进行参数值调整。此次共创建了十五个色彩样本，见表 1。

3.1.3 造型—色彩样本

将造型样本分别渲染十五种色彩样本的色彩，以得到十五种单一色彩的造型样本。操作时，保证每个造型—色彩样本在除色彩以外的其他因素，如材质、角度、距离、场景、光照等，完全相同。造型—色彩样本见图 3。

表 1 色彩样本
Tab.1 Color samples

编号	样本颜色	R	G	B	编号	样本颜色	R	G	B	编号	样本颜色	R	G	B
1		51	0	0	6		0	51	0	11		0	0	51
2		102	0	0	7		0	102	0	12		0	0	102
3		153	0	0	8		0	153	0	13		0	0	153
4		204	0	0	9		0	204	0	14		0	0	204
5		255	0	0	10		0	255	0	15		0	0	255

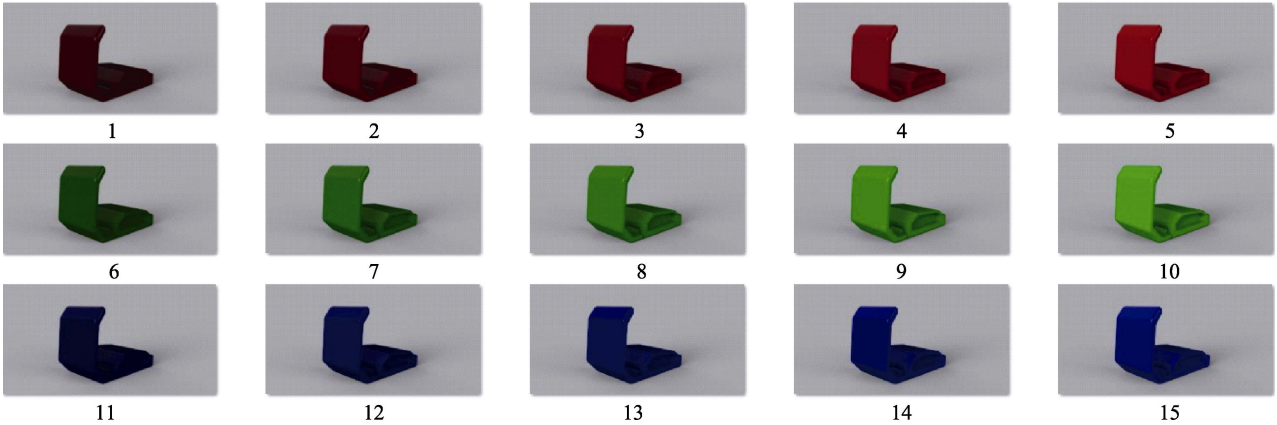


图 3 造型—色彩样本
Fig.3 Modeling-color samples

3.2 造型—色彩匹配度实验

造型—色彩的匹配度指在产品设计中的造型与色彩的契合程度。它用于评价造型与色彩进行搭配后的自然、协调、和谐、舒适程度。

造型—色彩匹配度实验的实验方法为向实验参与者以随机的顺序呈现十五个造型—色彩样本的效果图，请他们为每个造型—色彩样本中的造型和色彩的匹配度进行评分。具体实验过程如下。

1) 实验前，准备实验物品，并布置实验场地。将参与者分为六组，每组五人。同时，每组有两名实验负责人。一名负责人向实验参与者展示实验样本；另一名负责人记录评分和实验过程中参与者提出的想法。

2) 进行实验。首先，向实验参与者说明实验规则和要求。然后，请参与者填写表格，描述购买产品时对产品造型和色彩的要求与期望。让参与者浏览模型，并在心中想象此造型适合的色彩。向参与者展示一个造型—色彩样本，使其为该样本中的造型和色彩的匹配度，用 0~10 之间的任意数值进行评分。其由小到大的数值表示从“完全不匹配”到“非常匹配”。接着，以随机的顺序进行下一个造型—色彩样本的评分，直到此实验参与者对十五个样本都进行了评价，再请下一个实验参与者按照上述过程参与实验。最后，所有实验参与者都完成评价。

3) 实验后，对每个造型—色彩样本的得分进行统计、分析。考虑到性别可能对色彩认知造成一定的影响，故将男、女参与者的评分分别统计，之后再行汇总，得到总的参与者匹配度评分。实验参与者对实验造型—色彩样本的匹配度评分见表 2。其中，“编

号 1”为实验样本编号，“编号 2”为实验参与者编号，“女”、“男”分别代表了女、男实验参与者。

3.3 造型—色彩消费者喜好程度实验

造型—色彩的消费者喜好程度，即造型—色彩的受欢迎程度，指消费者对一件产品的喜爱、偏好程度。它可以反映消费者内心的情感倾向、购买意图。它受到消费者的认知水平、兴趣爱好、职业、年龄等因素的影响，具有个体差异性、主观性、相对性，也具有群体特征。

为探究造型—色彩的匹配度与消费者喜好程度之间的关系，在造型—色彩消费者喜好程度实验中，使用相同的实验参与者、实验样本等，使其与上述造型—色彩匹配度实验保持一致。造型—色彩消费者喜好程度实验的实验方法仍是以随机的顺序，向实验参与者呈现十五个造型—色彩样本的效果图，并且请他们对每个造型—色彩样本中的造型和色彩的喜好程度进行评分。其具体实验过程与上述造型—色彩匹配度实验基本相同，主要差别在于：（1）实验过程中，请参与者填写表格，描述其自身的色彩偏好；（2）向参与者展示一个造型—色彩样本，使其对该样本进行评分，以 0~10 之间的任意数值表示其喜好程度（数值由小到大表示了“完全不喜欢”到“非常喜欢”的程度）；（3）以随机的顺序，进行对下一个造型—色彩样本的喜好程度评分，直到该实验参与者完成对十五个样本的评价；（4）请下一个实验参与者按照上述过程参与实验，直到所有实验参与者都完成评价。实验得到实验参与者对实验造型—色彩样本的喜好程度评分，见表 3。

表 2 实验参与者对实验造型—色彩样本的匹配度评分
Tab.2 Test participants' scores on the matching degree of test modeling-color samples

编号 1 编号 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1(女)	7	8.5	8	9	7	6.5	7	6	7.5	5	7	7.2	7	7.5	6
2(女)	8.5	8	8	7	7	5	6	8	6	5	4	5	4	7	4
3(女)	7	8	8	9	8	7	8	7	8	7	5.5	6	7	6	7
4(女)	4	6	7.5	8	7	4	5	7	8	8	2	4	5	7	5
5(女)	7	7	8	8	9	6.5	7	8	7	8	5	6	8	7	6
6(女)	8	8	7.5	9	9	7.8	8	6	7.5	7.8	4	5	7	7	6
7(女)	7	4	6	8.8	8.5	8	8	7.5	7	7	4.5	6	7	6	6
8(女)	4	8	6	8	8	8	9	7	7	7.5	2	3	6	6.5	4
9(女)	6	7	7	8	7	9	7	7	8	6	4	5	7	7	5
10(女)	6	7	9	8	8	6.3	5	8	8.5	8	4	5	6	7	6
11(女)	5	8.5	7.8	7.8	8	7	9	7	8	6	5	8	7.5	6	5
12(女)	7	7.5	6.5	7.5	7.5	5	10	6.5	8	7.5	8	6	6.5	6	6
13(女)	2	3	6	6	5	6	3	9	7	5	2	3	5	6.5	2
14(女)	8	9	8	10	10	9	8	7.5	6	7	4	4	6	8	7.5
15(女)	5	6	7.5	8	7	7	6	6	8	9	7	5	7	7.8	7
平均值(女)	6.10	7.03	7.39	8.14	7.73	6.81	7.07	7.17	7.43	6.92	4.53	5.21	6.40	6.82	5.50

续表 2

编号 1 编号 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16(男)	5	7	8.5	9.2	8.2	6	6.5	8	8.8	8.8	5	6	6.5	7.5	8
17(男)	3	4	5	7.5	6	9	9	8	8	5	2	3	4	4	4
18(男)	5	6.5	7.5	8	7.5	8	7.5	8.8	9	10	4	4	8.5	6	3
19(男)	4.5	7	7	8.8	8.5	6	7	8	8	6.5	5	6	5.5	6	6
20(男)	5	6	6.5	6.5	7	7	7.5	9	8	8	6	7	8	7	8
21(男)	4	4	7	8	7.5	5	4	7	7	7	3	4	5	6	6
22(男)	1	5	8	6	6.5	5	8	6	7	8	7	8	4	4	3
23(男)	6	8	7	10	9	4	5	9	10	8	4	5	6	5	5
24(男)	4	6.5	8	8	8	8	6.5	6	7	6	3	5	4	7	8
25(男)	1	4	5	8	10	4	6	9	10	8	4	5	6	7.5	7
26(男)	5.5	7	7	9	9	8	9	9	9	9	7	8	6	9	8
27(男)	4	8	9	8	8	9.8	7	9	8	8	3	4	6	6.5	6
28(男)	2	4	7.5	6.5	6	5	6	7	9	8	3	5	5.5	7	8
29(男)	3	6	8	6	8	6	6.5	6.5	7	7	5	6	6	5	6
30(男)	5	6.5	7	7	8.5	8	7	7	8	8.5	5	6	7	5	5.5
平均值(男)	3.87	5.97	7.20	7.77	7.85	6.59	6.83	7.82	8.25	7.72	4.40	5.47	5.87	6.17	6.10
平均值	4.98	6.50	7.29	7.95	7.79	6.70	6.95	7.49	7.84	7.32	4.47	5.34	6.13	6.49	5.80

表 3 实验参与者对实验造型—色彩样本的喜好程度评分

Tab.3 Test participants' scores on the preference degree of the test modeling-color samples

编号 1 编号 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1(女)	7	8	8	8.8	7.5	8	6.5	6.5	7	6	7.8	7.5	7.5	6.5	6
2(女)	8	7	8	7.8	7.6	8	8	7	9	8.5	8	7	3	4	4
3(女)	7	8	8	9	8	5	9	8	8	9	5	6	8	7	7
4(女)	5	7.5	7	8.5	8	7	7	7.5	8.5	6	3	5	7	4	5
5(女)	5	6.5	8	7	7	8	7	5	6	7	3	3	3	6	6
6(女)	6	7.5	7.5	8.5	9	5	6	8	8	8	4	5	3	7	6
7(女)	7	8	8	8.5	8	8	8	7	7.5	7	4	5	7	6.5	6
8(女)	2	6	6	8.4	8	7	7.8	7.5	6	5	1	2	3	4	3
9(女)	6	7	7	8	7.5	8	7	7.5	8	8	5	5	6	7	5
10(女)	5	8	7	7	8.5	5	4	8	8.5	9	4	5	6	8	6
11(女)	6	7.5	7.8	8	8	7.5	8	7	8	7	4	7	7	5	4
12(女)	6.5	8	7.5	8	8.5	6.5	7.5	6	7	7.5	6	5	6	6	5
13(女)	1	2	5	7	6.5	4	4.5	8	7	5.5	2	4	3	4	3
14(女)	7	8	8.5	10	10	9	8.5	7	9	8	4	4.5	5	8	7
15(女)	6	6	8	8	7	8	7	8	8	9	6.5	5	6	7.8	8
平均值(女)	5.63	7.00	7.42	8.17	7.94	6.93	7.05	7.20	7.70	7.37	4.49	5.07	5.37	6.05	5.4
16(男)	3	7	9	9.5	9.3	5	7	8.5	9.2	9	5	8.5	6	8.2	7.5
17(男)	4	5	6	7.5	4	8	9	6	7	6	2	4	4	5	4
18(男)	4	6	5	7	7.5	5	8	8	9	9.8	6	6	5.5	4.5	3
19(男)	6	6	7	8	8	6	9	8	7	7	6	7	6	4	6
20(男)	5	6	7	6	7	7	4	8	8	8	5	6	7	8	8.5
21(男)	4	5	7	5	7	6	7	7	7	8	3	4	5	6.5	5
22(男)	6	6	7	8	9	9	9	5.3	6	8.5	8	7	6	9	7
23(男)	7	7	7	10	10	7.5	7	8	10	8	5	7	6	6	6

续表 3

编号 1 编号 2															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
24(男)	4	8	8	8	8	7.8	8	8	8	6	6	5	7	5	6
25(男)	0	5	4	9	9	3	10	6	7	10	1	2	4	6.5	6
26(男)	6	7	6	8	8	7	7	8	8	8	7	8	9	8	8
27(男)	4	4	9	9	9	6	6	8	9	7.5	5	6	5	5	7
28(男)	1	6	7.8	8.8	7.5	8	8.5	8.5	8.8	9	6	6.8	7	8	6
29(男)	2	5	7	7	9	7	7	8	9	10	0	2	5	6	6
30(男)	6	7.5	7.5	8	8.5	7	7.5	8	8.5	8	6	7	7	7.5	6
平均值(男)	4.13	6.03	6.95	7.92	8.05	6.62	7.60	7.55	8.10	8.18	4.73	5.75	5.97	6.48	6.13
平均值	4.88	6.52	7.12	8.04	8.00	6.78	7.33	7.38	7.90	7.78	4.61	5.41	5.67	6.27	5.77

4 实验结果

分别将男、女、总体参与者对造型—色彩样本的平均匹配度评分，男、女、总体参与者对造型—色彩样本的平均喜好程度评分的实验数据在 SPSS 软件系统中进行方差分析^[17]。

4.1 性别对样本评分的影响

利用两两比较的方法，对男、女、总体参与者的匹配度、喜好程度平均得分进行方差分析，以检验不同性别参与者的评分是否存在差异。检验结果，即不同性别实验样本评分比较，见表 4。

表 4 不同性别实验样本评分比较
Tab.4 Comparison of different sex test sample scores

参与比较类别		成对差分					t	df	Sig.
		均值	标准差	均值的 标准误	差分的 95%置信区间				
					下限	上限			
1	女参与者匹配度评分— 男参与者匹配度评分	0.15800	0.79982	0.20651	−0.28493	0.60093	0.765	14	0.457
2	女参与者匹配度评分— 总体匹配度评分	0.07933	0.40069	0.10346	−0.14256	0.30123	0.767	14	0.456
3	男参与者匹配度评分— 总体匹配度评分	−0.07867	0.39918	0.10307	−0.29972	0.14239	−0.763	14	0.458
4	女参与者喜好程度评分— 男参与者喜好程度 评分	0.01200	0.73303	0.18927	−0.39394	0.41794	0.063	14	0.950
5	女参与者喜好程度评分— 总体喜好程度评分	−0.05000	0.33711	0.08704	−0.23669	0.13669	−0.574	14	0.575
6	男参与者喜好程度评分— 总体喜好程度评分	0.04467	0.33366	0.08615	−0.14011	0.22944	0.518	14	0.612

由表 4 可知，经检验实验参与者对实验样本的造型—色彩匹配度、受喜好程度的测试结果，发现每组的 P 值均大于 0.05，不具有显著性差异，即性别对实验样本的匹配度、喜好程度的评分没有明显差别，并不存在性别对实验样本评价的影响，因此，在后续分析中，仅对总体实验参与者的实验数据进行分析，不再单独对男、女实验参与者的实验数据进行分析。

4.2 平均匹配度与平均受喜好程度之间的关系

在 SPSS 软件系统中，对红色系、绿色系、蓝色

系、总体实验样本的匹配度平均得分、喜好程度平均得分进行配对样本 T 检验^[18]。样本平均匹配度与平均受喜好程度评分结果见表 5。

由表 5 可知，对红色系、绿色系、蓝色系、总体实验样本的匹配度、受喜好程度进行检验后发现，每组的 P 值均大于 0.05，不具有显著性差异，即实验样本的匹配度、受喜好程度的评分没有明显差别，实验样本的平均匹配度与平均受喜好程度具有一致性。由此得出，实验样本的造型—色彩匹配度越高，越受消费者青睐，反之亦然。

表 5 样本平均匹配度与平均受喜好程度评分结果
Tab.5 Score results of sample average matching degree and average preference degree

参与比较类别		成对差分				t	df	Sig.	
		均值	标准差	均值的 标准误	差分的 95%置信区间				
					下限				上限
1	红色系总体匹配度评分—红色系总体喜好程度评分	−0.02000	0.12865	0.05753	−0.17974	0.13974	−0.348	4	0.746
2	绿色系总体匹配度评分—绿色系总体喜好程度评分	−0.17400	0.23808	0.10647	−0.46961	0.12161	−01.634	4	0.178
3	蓝色系总体匹配度评分—蓝色系总体喜好程度评分	0.10000	0.24259	0.10849	−0.20122	0.40122	0.922	4	0.409
4	总体匹配度评分—总体喜好程度评分	−0.03133	0.22630	0.05843	−0.15665	0.09399	−0.536	14	0.600

4.3 造型—色彩样本匹配及受喜好规律

4.3.1 统计分析

在 MATLAB 中，以 R、G 或 B 参数值为横坐标，分别以匹配度平均得分、受喜好程度平均得分为纵坐标，绘制了不同参数值的平均匹配度和平均受喜好程度评分统计，见图 4。

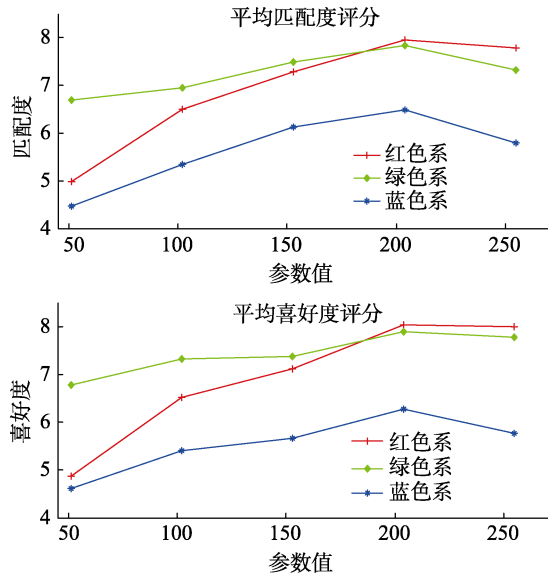


图 4 不同参数值的平均匹配度和平均受喜好程度评分统计
Fig.4 Score statistics of average matching degree and average preference degree for different parameter values

由图 4 可知，红、绿曲线基本高于蓝曲线，即参与者认为红、绿比蓝与该造型的匹配度更高，参与者更偏好红、绿。红色系在参数值较小时的匹配度和受喜好程度低于绿色系，随着红的参数值变大，当其超过一定数值后，逐渐接近并超过了绿。无论是红、绿、

蓝，三条曲线的匹配度、受喜好程度平均评分均在第 4 点附近取得了最大值。之后的顺序按照匹配度、受喜好程度由高到低地依次作为第 5、3、2、1 点。实验结果表明，实验者认为纯度、明度较高的色彩与该造型的匹配度更高，并且更受消费者喜爱。然而并非参数值越高越好，当参数值大于一定值后，平均得分反而有所下降。

4.3.2 回归分析

以实验中 R、G 或 B 参数值为自变量，以红、绿、蓝实验样本的平均匹配度为因变量，通过 MATLAB 分别进行回归分析（Regression Analysis）^[19-20]。得到回归方程如下。

$$f(x) = ae^{(-(x-b)/c)^2} \quad (x \in [0, 255], x \in \mathbb{N}) \quad (1)$$

其中，平均匹配度回归方程为：

红色系（ $R^2=0.9941$ ）

$$f(x) = 7.948e^{(-(x-219.5)/249.5)^2} \quad (2)$$

绿色系（ $R^2=0.8445$ ）

$$f(x) = 7.613e^{(-(x-196.3)/380.7)^2} \quad (3)$$

蓝色系（ $R^2=0.9765$ ）

$$f(x) = 6.346e^{(-(x-191.3)/230.6)^2} \quad (4)$$

以实验中 R、G 或 B 参数值为自变量，以红、绿、蓝实验样本的平均受喜好程度为因变量，通过 MATLAB 分别进行回归分析。得到回归方程如下。

$$g(x) = ae^{(-(x-b)/c)^2} \quad (x \in [0, 255], x \in \mathbb{N}) \quad (5)$$

平均受喜好程度回归方程为：

红色系（ $R^2=0.9818$ ）

$$g(x) = 8.06e^{(-(x-233.4)/262.7)^2} \quad (6)$$

绿色系（ $R^2=0.9185$ ）

$$g(x) = 7.822e^{(-(x-252.6)/538.3)^2} \quad (7)$$

蓝色系（ $R^2=0.9378$ ）

$$g(x) = 6.049e^{(-(x-202.3)/288.6)^2} \tag{8}$$

通过计算得到红、绿、蓝匹配度和受喜好度的最大

大值，以及其对应参数值，并对结果进行分析，得到匹配度—喜好程度对比分析，见表 6。

表 6 匹配度—喜好程度对比分析
Tab.6 Comparative analysis on matching degree-preference degree

名称	参数值	最大值	最大值差值	最大值相对误差/%	参数值差值	参数值相对误差/%
红—匹配	219.5≈220	7.948	0.112	1.39	13	5.58
红—喜好	233.4≈233	8.060				
绿—匹配	196.3≈196	7.613	0.209	2.67	57	22.53
绿—喜好	252.6≈253	7.822				
蓝—匹配	191.3≈191	6.346	0.297	4.91	11	5.45
蓝—喜好	202.3≈202	6.049				

由表 6 可知，红、蓝匹配度、受喜好程度的最大值的差值分别为 0.112、0.297，相对误差依次为 1.39%、4.91%，对应的参数值差值分别为 13、11，相对误差依次为 5.58%、5.45%，均在合理范围之内，符合前文的分析结果。绿—匹配度、喜好程度最大值的差值为 0.209，相对误差为 2.67%，对应参数值的差值为 57，相对误差为 22.53%，经过分析、计算发现，绿—喜好函数在区间[153, 255]上，有：

$$f(x)_{\max} - f(x)_{\min} = f(253) - f(153) =$$
$$7.822 - 7.5587 = 0.2633$$

离散程度较小说明了曲线波动幅度较小、较为平缓。在此区间内随着参数值的变化，受喜好程度波动不大，说明此区间内任意两个参数值所对应的受喜好程度差距不大，并且均较高。例如，参数值为 200 时，对应受喜好程度为 7.7477；参数值为 153 时，对应受喜好程度为 7.5587；参数值为 255 时，对应受喜好程度为 7.7360，三者受喜好程度相差甚小，因此，绿的匹配度、受喜好程度取得最大值时，其对应的参数值也在合理范围之内。这说明绿存在一个较受喜好的区间范围，在此区间内的任意参数值所对应的色彩均受到消费者的喜爱。

5 验证

通过实验，对上述实验方法和实验结果的可靠性进行验证。为保证实验条件的一致性，实验参与者、造型样本、实验过程、实验条件等均与前文实验基本一致。不同之处有：（1）由上述实验可知，红、绿比蓝更受喜爱，故选取红和蓝作为验证实验色彩样本；（2）通过对回归方程进行计算，得到红、蓝的造型—色彩匹配度最大值和受喜好程度最大值，以及它们对应的数值。验证实验的色彩样本见表 7。

将造型样本分别渲染以上四个色彩，得到四个验证实验的造型—色彩样本，见图 5。

请实验参与者按照前文的步骤进行实验，进行红—匹配、蓝—匹配造型—色彩样本匹配度评分，以 0~10 之间的任意数值（由小到大表示了“完全不

表 7 验证实验的色彩样本
Tab.7 Color sample for verification test

名称	参数值	对应色彩
红—匹配	219.5≈220	
蓝—匹配	191.3≈191	
红—喜好	233.4≈233	
蓝—喜好	202.3≈202	

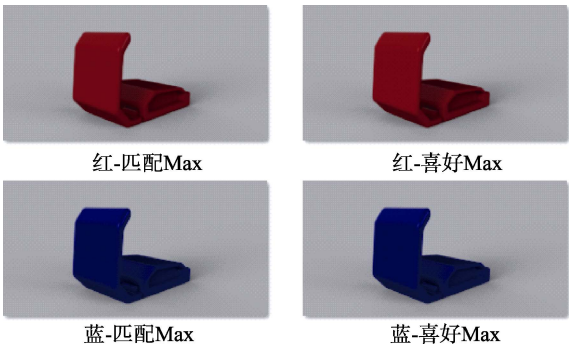


图 5 验证实验的造型—色彩样本
Fig.5 Modeling-color samples of validation test

匹配”到“非常匹配”)。另外，请他们进行红—喜好、蓝—喜好的造型—色彩样本受喜好程度评分，以 0~10 之间的任意数值（由小到大表示了“完全不喜欢”到“非常喜欢”），得到了四个验证实验的造型—色彩样本评分，见表 8。

由表 8 可知，通过计算和将验证实验的实验值与回归方程的理论值进行比较可知四个造型—色彩样本的相对误差依次为 4.630%、3.215%、2.978%、3.653%，均在合理范围内，回归方程的理论值与实际实验值基本一致。这说明回归方程具有有效性，可在实际的设计工作中进行应用。

四个样本的实验得分平均值与理论值接近，但红色样本匹配度、受喜好程度得分的平均分均低于其理

表 8 验证实验的造型—色彩样本评分
Tab.8 Modeling-color sample scores of validation test

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	实验平均值	理论值	相对误差/%
红—匹配	5	9	8	9	8	7	6	8.5	7.8	8	7.58	7.948	4.630
蓝—匹配	8	7	8	6	7	6	5	7	6.5	5	6.55	6.346	3.215
红—喜好	5	9	9	9.5	7	7.2	7	8	8	8.5	7.82	8.06	2.978
蓝—喜好	7	8	7	5	6	5	4	7.5	7.2	6	6.27	6.049	3.653

论值，而蓝色样本匹配度、喜好程度得分的平均分均高于理论值。造成误差的原因可能是受到季节、温度变化的影响。造型—色彩匹配度及受喜好程度的实验在4月初进行，当时为春季，实验时的温度约为23℃。然而验证实验在5月底进行，当时已进入夏季，实验时的温度约为30℃。两次实验的温度相差约7℃。随着气温的升高，人们对冷色系的蓝的喜好程度有所增加，而对暖色系的红的喜好程度有所减小。

6 结语

通过设计实验和对实验数据的分析可知：（1）提出的基于参数化的产品单一色彩设计方法及其应用规律具有有效性、可靠性、可行性，在实际的设计工作中，可以根据具体情况进行应用，并且可以考虑今后运用于 RGB 色彩系统或其他色彩系统的其他色彩；（2）造型—色彩样本的匹配程度和受喜好程度具有相关性，造型—色彩匹配度越高，产品越受消费者喜爱，故在今后的产品设计中，可通过造型—色彩的良好匹配来获得消费者的喜爱；（3）就本次案例而言，同参数值的红、绿比蓝与造型样本的匹配度更高，进行相关设计时可适当增加对红、绿的选择，并减少对蓝的选择。综合来说，虽然纯度、明度较高的色彩与造型样本的匹配度更高，使其更受消费者喜爱，但是在设计应用时，必须掌握适度原则，毕竟当参数值超过一定值后，其对应的匹配度、受喜好程度反而会下降。

参考文献:

[1] LAI H H, LIN Y C, YEH C H, et al. User-oriented Design for the Optimal Combination on Product Design[J]. International Journal of Production Economics, 2006, 100(2): 253-267.

[2] 丁满, 孙伟, 马沁怡. 基于色彩空间分布形式的产品配色意象评价[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(3): 491-495.

DING Man, SUN Wei, MA Qin-yi. Evaluation of Color Matching Image Based on Color Space Distribution[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16(3): 491-495.

[3] 李小丽. 产品色彩的设计研究[J]. 包装工程, 2016, 37(6): 155-158.

LI Xiao-li. Design and Research of Product Color[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(6): 155-158.

[4] 郑晓红. 大数据时代的色彩调和论研究[J]. 南京艺术学院学报: 美术与设计, 2014(2): 46-48.

ZHENG Xiao-hong. Research on Color Harmony Theory in Big Data Era[J]. Journal of Nanjing Arts Institute Fine Arts & Design, 2014(2): 46-48.

[5] TSAI H C, CHOU J R. Automatic Design Support and Image Evaluation of Two-coloured Products Using Colour Association and Colour Harmony Scales and Genetic Algorithm[J]. Computer-Aided Design, 2007, 39(9): 818-828.

[6] HSIAO S W, YANG M H, LEE C H. An Aesthetic Measurement Method for Matching Colours in Product Design[J]. Colour Reacher & Application, 2017, 42(5): 664-683.

[7] 胡志刚, 吕娜, 乔现玲, 等. BP 神经网络在产品配色中的应用研究[J]. 包装工程, 2016, 37(10): 136-141.

HU Zhi-gang, LYU Na, QIAO Xian-ling, et al. Application of BP Neural Network in Product Color Matching[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(10): 136-141.

[8] 刘炯宙, 李基拓, 陆国栋. 色彩语义驱动的产品交互式遗传配色设计[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(5): 669-676.

LIU Jiong-zhou, LI Ji-tuo, LU Guo-dong. Interactive Genetic Matching Design Based on Color Semantics[J]. Journal of Design & Computer-Aided Computer Graphics, 2012, 24(5): 669-676.

[9] 张琳, 赵静. 产品色彩设计意象评价的数理方法研究[J]. 机械设计, 2014, 31(12): 108-111.

ZHANG Lin, ZHAO Jing. Research on Mathematical Methods for Evaluation of Product Color Design Images[J]. Machine Design, 2014, 31(12): 108-111.

[10] 刘乐沁, 邵奇, 武燕. 模糊聚类混沌自适应粒子群的神经网络色彩匹配[J]. 包装工程, 2015, 36(9): 108-113.

LIU Le-qin, SHAO Qi, WU Yan. Neural Network Color Matching Based on Fuzzy Clustering and Chaos Adaptive Particle Swarm[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(9): 108-113.

[11] 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. Color Fuzzy Optimization Design of Products Considering Ambiguous Color Image[J]. Chinese Journal of Mechanical En-

- gineering, 2011, 47(12): 185-190.
- [12] TSAI H C, HSIAO S W, HUNG F K. An Image Evaluation Approach for Parameter-based Product Form and Color Design[J]. Computer-Aided Design, 2006, 38(2): 157-171.
- [13] SCHIFFERSTEIN H N J, HOWELL B F. Using Color-odor Correspondences for Fragrance Packaging Design[J]. Food Quality & Preference, 2015, 46: 17-25.
- [14] 于国瑞. 色彩构成[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
YU Guo-rui. Color Composition[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2014.
- [15] LUO M R. Applying Colour Science in Colour Design[J]. Optics & Laser Technology, 2006, 38(4): 392-398.
- [16] 王烨. 汽车造型与色彩匹配关系研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.
WANG Ye. Research on the Relationship Between Automobile Modeling and Color Matching[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2015.
- [17] 陈胜可, 刘荣. SPSS 统计分析从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
- CHEN Sheng-ke, LIU Rong. SPSS Statistical Analysis from Entry to Master[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2015.
- [18] 黄宝莹, 周臣清, 黄玲玲, 等. 配对 T 检验法比较 3 种方法检测奶粉中金黄色葡萄球菌计数结果[J]. 中国乳品工业, 2016, 44(8): 55-57.
HUANG Bao-ying, ZHOU Chen-qing, HUANG Ling-ling, et al. Comparison of Three Methods for the Detection of Staphylococcus Aureus in Milk Powder by Paired T-test[J]. China Dairy Industry, 2016, 44(8): 55-57.
- [19] 刘卫国. MATLAB 程序设计与应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2017.
LIU Wei-guo. MATLAB Programming and Application[M]. Beijing: Higher Education Press, 2017.
- [20] 卓金武. MATLAB 在数学建模中的应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2014.
ZHUO Jin-wu. Application of MATLAB in Mathematical Modeling[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2014.

(上接第 199 页)

- QIAN Jie, PAN Hong-tao. The Impact of User Generated Content Usage and Satisfaction on Brand Attitude: Taking Audio and Video User Generated Content as an Example[J]. Research on Finance and Trade, 2012, 23(3): 105-115.
- [5] NORMAN D A. Emotional Design: Why We Love or Hate Everyday Things[M]. New York: Basic Books, 2004.
- [6] ROSALES J, RODRÍGUEZ L, RAMOS L. A General Theoretical Framework for the Design of Artificial Emotion Systems in Autonomous Agents[J]. Cognitive Systems Research, 2019(58): 138.
- [7] MIHALY C, EUGUNU H. The Meaning of Things[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.
- [8] 阮立俊, 陈焜坤. 基于社交关系强度的兴趣社交 APP 设计研究[J]. 包装工程, 2017, 38(22): 125-130.
RUAN Li-jun, CHEN Zhi-kun. Design of Interest Social APP Based on Social Relationship Intensity[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(22): 125-130.
- [9] 陈志玉. 《闲情偶寄》与《情感化设计》的设计理念比较研究[J]. 包装工程, 2018, 39(12): 266-270.
CHEN Zhi-yu. A Comparative Study of the Design Concepts of "Leisure Couple" and "Emotional Design"[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(12): 266-270.
- [10] 张春强, 吉晓民. 符合时代特征的机械设备色彩情感化设计研究[J]. 机械设计, 2018, 35(3): 124-128.
CHEN Chun-qiang, JI Xiao-min. Research on Color Emotional Design of Machinery and Equipment Conforming to The Characteristics of the Times[J]. Mechanical Design, 2018, 35(3): 124-128.