

# 基于色彩案例和灰度关联分析的产品配色设计方法

杨延璞<sup>1</sup>, 陈登凯<sup>2</sup>, 顾 蓉<sup>1</sup>, 余隋怀<sup>2</sup>

(1. 长安大学工程机械学院, 陕西 西安 710064; 2. 西北工业大学机电学院, 陕西 西安 710072)

**摘 要:** 为有效辅助工业设计师进行产品配色设计, 提出基于色彩案例和灰度关联分析的产品配色设计方法。从目标意象出发, 通过分析并筛选产品配色样本, 研究色彩合并、取舍和色彩案例表示方法, 基于对目标产品赋色区域划分实现色彩案例向目标产品配色映射, 引入灰度关联分析方法评价映射后的色彩方案与案例色彩的关联性。以剪式升降机的配色设计为例, 验证了该方法能够有效实现案例色彩向目标产品配色转换, 生成用户满意方案。

**关 键 词:** 产品配色设计; 色彩案例; 灰度关联分析; 色彩意象

中图分类号: TP 391

DOI: 10.11996/JG.j.2095-302X.2016040509

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2016)04-0509-05

## Product Color Design Method Based on Color Case and Grey Relational Analysis

Yang Yanpu<sup>1</sup>, Chen Dengkai<sup>2</sup>, Gu Rong<sup>1</sup>, Yu Suihuai<sup>2</sup>

(1. School of Construction Machinery, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China;

2. School of Mechanical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi 710072, China)

**Abstract:** To effectively aid industrial designers for product color design, a color design method was proposed by integrating color case and grey relational analysis. From target color image, product color specimens were selected, analyzed and screened. Color merging and trade-off analysis were researched as well as color case description method. For mapping color case to target product color design, target product was partitioned into several areas and grey relational analysis was used to evaluate the relevance between mapping product color scheme and color case. Scissor lift was taken as an example to verify that the proposed method can help transfer case color to target product color design effectively and offer satisfactory solution to customers.

**Keywords:** product color design; color case; grey relational analysis; color image

人的感知首先来源于视觉, 而影响视觉的主要因素是色彩。色彩作为产品造型风格塑造的重要元素, 与形态共同决定着产品的视觉意象<sup>[1]</sup>。良好的产品配色能够提升产品造型的美学价值, 增强消费者对产品造型的心理认同感和愉悦感, 从而影响消费者的购买决策<sup>[2]</sup>。在产品配色设计中, 现有产品

的色彩案例是设计师灵感的重要来源。工业设计师常根据目标产品的色彩意象定位, 借鉴具有类似风格的产品配色案例, 通过色彩值的变化实现案例色彩方案向目标产品配色方案的映射。生成方案与色彩案例的风格意象一致是产品配色设计成功的关键。

收稿日期: 2015-11-21; 定稿日期: 2016-01-09

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2016JQ5107, 2015JQ3068); 长安大学中央高校基金项目(310825151039)。

作者简介: 杨延璞(1984-), 男, 河南南阳人, 讲师, 博士。主要研究方向为计算机辅助工业设计、产品创新设计。E-mail: thomasyang2005@126.com

目前,关于产品色彩意象的研究主要包括产品配色方案的智能生成与意象评价。在产品配色方案智能生成方面,文献[3]开发了双色产品配色的自动化设计系统,借助遗传算法求解满足色彩联想和色彩调和的优化组合配色方案;文献[4]将神经网络和产品配色设计相结合,实现产品配色方案的自动智能生成;文献[5]基于交互式遗传算法实现了平面图像到产品三维模型的配色方案自动映射;文献[6]融合了色彩调和理论、色彩语义和交互式遗传算法,建立了产品配色方案的自动求解机制;文献[7]针对用户色彩意象表达的模糊问题,建立了产品色彩模糊设计模型,基于粒子群算法生成产品配色系列方案并进行了模糊优化求解。在配色意象评价方面,文献[8]集成模糊神经网络和灰度理论实现产品配色方案的意象评价与预测;文献[9]从色彩定制的角度结合因子分析法和模糊层次分析法,建立了产品配色方案的决策模型;文献[10]考虑了产品不同工作模式,构建了产品配色方案的灰度评价模型;文献[11]分析了色彩的不同空间分布形式对产品意象的影响;文献[12]针对产品配色方案的多意象特征,利用灰度关联分析进行色彩意象评价。但以上研究缺乏对现有产品配色案例的考虑,一定程度上限制了产品配色设计的成功率和效率。如何利用现有产品配色案例进行目标产品配色设计,还有待于进一步研究。

本文立足于目标产品的意象定位,通过筛选获取配色样本,以色彩合并和取舍的方式生成案例色彩,研究了色彩案例的表示方法,提出了基于赋色区域划分的色彩案例映射方法,基于灰度关联分析评价映射后的色彩方案与案例色彩的关联性。最后,以剪式升降机的配色设计为例验证了方法的有效性。

## 1 色彩案例获取

色彩案例反映了产品色彩的市场流行趋势,借助其色彩意象空间,对目标产品的配色设计具有重要的借鉴和指导意义。产品色彩案例获取包括配色方案获取(包括色彩数量、色彩值、色彩面积比重)和色彩构成形式获取(包括色彩位置及形式)。其中,色彩位置因产品样本而异,色彩形式则主要反映设计师的主观经验和创意(如直线式、折线式、曲线式、复杂式等),因此文中色彩案例获取主要包括色彩数

量、色彩值和色彩面积比重。

### 1.1 产品配色样本筛选

根据目标产品的色彩意象定位,从产品图册、杂志、互联网等媒介广泛搜集产品配色案例。对搜集到的样本做初步筛选,去除精度不高、色彩模糊的样本,同时对目标色彩意象建立 Likert 五级量表,分析案例与目标意象的相关性: {无关/1, 稍微相关/2, 相关/3, 较为相关/4, 十分相关/5}。通过对设计师进行调查,得到各产品配色样本对目标色彩意象的相关性矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \cdots & \cdots & A_{ij} & \cdots \\ A_{m1} & A_{m2} & \cdots & A_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中,  $i$  为设计师编号,且  $i=1,2,\dots,m$ ;  $j$  为产品配色样本编号,且  $j=1,2,\dots,n$ ;  $A_{ij}$  为第  $i$  个设计师对第  $j$  个产品配色样本与目标产品的相关度打分。

分别计算第  $j$  个产品配色样本的均值  $\bar{A}_{ij}$  和标准差  $\sigma$

$$\bar{A}_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m A_{kj} \quad (2)$$

$$\sigma = \left[ \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (\bar{A}_{ij} - A_{kj})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

对  $|\bar{A}_{ij} - A_{ij}| > 3\sigma$  的产品配色样本予以剔除。

### 1.2 色彩合并与取舍

色彩合并是利用模糊处理技术将因高光、渐变色等影响的近似色彩进行合并,取舍是保留对视觉效果影响显著的大比重色彩而舍去对视觉效果影响不显著的小比重色彩<sup>[5]</sup>。产品配色样本色彩数量和色彩值的获取可通过 Adobe 公司的 Photoshop 图像处理软件实现,色彩面积比重为

$$w_i = p_i / \sum_{i=1}^m p_i \quad (4)$$

式中,  $w_i$  为第  $i$  种色彩的面积比重;  $p_i$  为第  $i$  种色彩的像素数,可在 Photoshop 图像处理软件中计算。

进行色彩取舍时,预设逻辑阈值  $D$ ,判断第  $i$  种色彩和第  $j$  种色彩之间的逻辑距离  $D_{ij}$ ,当  $\min D_{ij} < D$  时,予以舍去,否则保留。 $D_{ij}$  按下式计算

$$D_{ij} = \sqrt{(V_{ri} - V_{rj})^2 + (V_{gi} - V_{gj})^2 + (V_{bi} - V_{bj})^2} \quad (5)$$

其中,  $(V_{ri}, V_{gi}, V_{bi})$  和  $(V_{rj}, V_{gj}, V_{bj})$  分别为某产品配色样本中第  $i$  种色彩和第  $j$  种色彩的 RGB 值。

### 1.3 色彩案例描述

通过产品配色样本筛选、色彩合并和取舍, 得到产品配色案例集合, 其中色彩案例  $C$  可描述为

$$C = \{(c_1, w_1), (c_2, w_2), \dots, (c_m, w_m)\} \quad (6)$$

式中,  $c_i$ 、 $w_i$  分别为案例  $C$  的色彩 RGB 值和比重,  $m$  为  $C$  的色彩数量。一般而言,  $m \leq 4$ 。

## 2 产品配色设计灰度关联分析

### 2.1 基于赋色区域划分的色彩方案映射

基于产品外观形态组件的传统配色方法可能会因为外观组件过多而引起组合爆炸, 从而增加产品配色设计的工作量。为此, 本文采用基于赋色区域划分的产品配色设计方法, 由设计师结合产品外观形态、表面材质、工艺等信息, 通过个人创意、经验等对产品表面进行配色区域划分。基于赋色区域划分的映射可以描述为

$$MAP = \{(c_1, w_1, l_1), (c_2, w_2, l_2), \dots, (c_n, w_n, l_n)\} \quad (7)$$

其中,  $(c_i, w_i, l_i)$  为第  $i$  个赋色区域的色彩表达;  $c_i$  为色彩值,  $w_i$  为色彩  $c_i$  的面积比重,  $l_i$  为色彩  $c_i$  在产品形态空间中的位置。

针对色彩案例中色彩数量与目标产品赋色区域数量可能不一致的问题, 记色彩案例的色彩数量为  $N_c$ , 目标产品赋色区域划分数量为  $N_p$ , 同时对目标产品赋色区域按面积比重排序, 若  $N_c = N_p$ , 则优先选择该色彩案例进行配色; 若  $N_c < N_p$ , 则将色彩案例与目标产品赋色区域按面积比重对应赋色, 剩余区域的赋色则从该色彩案例中选择; 若  $N_c > N_p$ , 则按面积比重对应赋色。

### 2.2 产品配色方案灰度关联分析

基于色彩案例集, 期望目标产品配色方案具有和案例产品一致的色彩意象, 而色彩意象受色彩面积、位置、色彩值等因素影响, 呈现模糊和不确定的特点。为有效评价目标产品配色意象与案例产品配色意象的相关性, 引入灰度关联分析方法<sup>[13]</sup>进行分析。

针对目标意象, 将目标产品配色方案意象评价价值设为比较序列集合  $X$ , 则  $X = \{X_i | i=1, 2, \dots, m\}$  且  $X_i = \{x_i(j) | j=1, 2, \dots, n\}$ ,  $j$  为配色方案的意象指标数目; 参考序列为案例产品色彩方案的意象评价价值, 设为  $X_0$ , 且  $X_0 = \{x_0(j) | j=1, 2, \dots, n\}$ , 则为了使目标产品配

色方案具有和案例产品一致的色彩意象, 期望比较序列与参考序列关联度的和越大越好(望大性质), 其中, 与参考序列距离最近的色彩方案具有最大的关联度。则可按照式(8)对序列指标值进行统一。

(1) 数据归一化处理

$$x_i^*(j) = \frac{x_i(j) - \min_j x_i(j)}{\max_j x_i(j) - \min_j x_i(j)} \quad (8)$$

(2) 灰度关联系数计算

$$A_{0i}(j) = |x_0^*(j) - x_i^*(j)| \quad (9)$$

(3) 灰度关联度计算

$$\gamma_{0i}(j) = \frac{\min_i \min_j A_{0i}(j) + \zeta \max_i \max_j A_{0i}(j)}{A_{0i}(j) + \zeta \max_i \max_j A_{0i}(j)} \quad (10)$$

式(10)中,  $\zeta \in [0, 1]$  为分辨系数, 一般取 0.5。

(4) 加权灰度关联度计算: 假设色彩方案意象指标权重为  $w_i(j)$ ,  $w_i(1) + w_i(2) + \dots + w_i(n) = 1$ , 则比较序列的加权灰度关联度为

$$\Gamma_{0i} = \sum_{j=1}^n (w_i(j) \cdot \gamma_{0i}(j)) \quad (11)$$

式中,  $\Gamma_{0i}$  越大, 则说明比较序列越接近参考序列, 与案例产品的色彩意象关联度越好。

## 3 实例验证

以某品牌剪式升降机的配色设计为例。经市场调研分析, 已知其色彩意象定位为“稳重”与“醒目”。由设计师根据意象定位搜索相关产品案例, 共获得包括挖掘机、起重机、平地机等工程机械产品配色样本 43 个, 去除品牌、标识等信息, 组织 3 名设计师根据式(1)~(3)进行打分评价, 获得 35 个满足要求的色彩案例。根据式(4)、(5)进行色彩合并与取舍, 得到各色彩案例的色彩数量、色彩值和色彩面积比重, 以式(6)的形式表示。图 1 所示为某一产品样本经色彩合并与取舍得到的色彩案例。

根据剪式升降机外观组件的形态、功能, 可将其分解为作业平台、剪叉机构和底座, 如图 2 所示。各赋色区域的面积比重分别为: 14.8%、46.1%、39.1%。

优先选择色彩数量与赋色区域划分数量相等的色彩案例, 共有 12 个色彩案例满足要求。以图 1 为例, 以排列组合的形式进行赋色映射, 则可产生共  $3 \times 3 \times 3 = 27$  种配色方案。为体现案例色彩的色彩

意象,同时减小设计师进行方案评价和选择的工作量,将图1案例中面积比重最大的色彩赋予图2赋色区域中面积最大的部件,即剪式升降机的剪叉机构,从而将赋色映射得到的案例数量减小为9个,如图3所示。

经设计师分析,确定目标意象定位“稳重”与“醒目”的权重分别为0.4和0.6,随机选取5位用户对9个配色方案和参考色彩案例按十分制进行打分,依据式(8)~(11)计算配色方案与参考案例的灰度关联度,计算结果如表1所示。



图1 某产品样本色彩案例

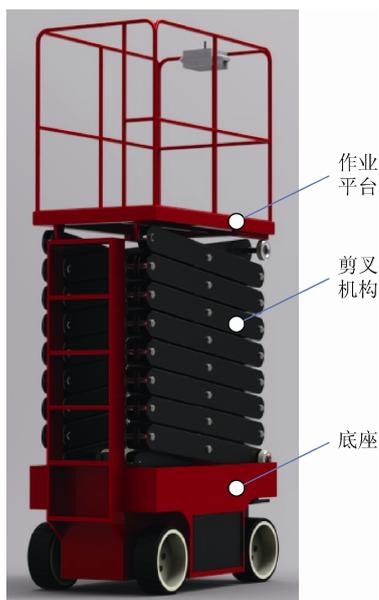


图2 剪式升降机赋色区域划分

从表1可看出,方案9与色彩案例的灰度关联度最强,原因是其各色彩的空间布局最接近色彩案例的布局方式,且用户综合评价值也较高。方案7获得最高的用户评价值,与案例色彩也有较高的灰度关联度。因此,方案7和方案9与案例色彩具有一致的意象,可作为满意方案备选。同时,也可看出,当黑色布局于最上方时,其稳重感和醒目感都受影响,与案例色彩关联度和用户评价值都较低(如方案1~3);黑色位于最下方时,稳重感较高(如方

案6、9);黄色位于最上方时,醒目感较好(如方案7~9),这也符合用户的认知。据此,可对色彩案例集中其他案例向目标产品进行配色映射,获得更多的配色方案。



图3 色彩案例映射得到的配色方案

表1 配色方案与案例色彩灰度关联度计算结果

方案号	灰度关联度		加权灰度关联度	用户综合评价价值
	稳重	醒目		
1	0.155 683	0.137 232	0.144 612	7.80
2	0.080 559	0.293 154	0.208 116	8.00
3	0.083 333	0.372 093	0.256 589	8.62
4	0.666 667	0.899 065	0.806 106	8.56
5	0.824 645	0.990 521	0.924 171	8.86
6	0.947 867	0.875 690	0.904 561	8.82
7	0.898 723	0.985 579	0.950 837	9.18
8	0.912 231	0.976 791	0.950 967	9.14
9	0.981 395	0.966 019	0.972 169	9.14

## 4 结 论

为提高产品配色设计的有效性,本文将配色案例和灰度关联分析引入产品配色设计过程。通过对获取的色彩案例样本筛选,研究了色彩合并、筛选及色彩案例描述方法,提出了基于赋色区域划分的色彩方案映射方法,以灰度关联分析评价映射后的方案与色彩案例的关联性。以剪式升降机的配色设计为例,研究了案例色彩向目标产品的映射过程,用户评价结果和灰度关联分析结果验证了所提方法有助于实现案例色彩向目标产品配色的转换,生成用户满意方案。下一步工作将研究色彩案例映射的自动求解方法。

### 参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] Satake I, Xin J H, Tu T M, et al. A comparative study of the emotional assessment of automotive exterior colors in Asia [J]. *Progress in Organic Coatings*, 2011, 72(3): 528-540.
- [3] 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.
- [4] Tsai H C, Hung C Y, Hung F K. Computer aided product color design with artificial intelligence [J]. *Computer-Aided Design & Applications*, 2007, 4(1): 557-564.
- [5] 刘肖健,李桂琴,孙守迁. 基于交互式遗传算法的产品配色设计[J]. *机械工程学报*, 2009, 45(10): 222-227.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Ma M Y, Chen C Y, Wu F G. A design decision-making support model for customized product color combination [J]. *Computers in Industry*, 2007, 58(6): 504-518.
- [10] 丁 满,孙 伟,马铁强. 多工作模式产品配色意象的灰色评价方法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2009, 21(12): 1857-1862.
- [11] 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): 491-542.
- [12] 孙志学. 基于灰度关联分析的产品色彩方案多意象优选[J]. *机械设计*, 2015, 32(1): 120-122.
- [13] Deng J L. Control problems of grey system [J]. *Systems & Control Letters*, 1982, 1(5): 288-294.