

基于意象感知的电动牙刷造型参数化设计研究

江作亚¹, 林 丽², 吴金梦²

¹贵州大学现代制造技术教育部重点实验室, 贵州 贵阳

²贵州大学机械工程学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年9月22日; 录用日期: 2023年12月22日; 发布日期: 2023年12月29日

摘 要

为了提高电动牙刷的造型设计与用户意象感知之间的一致性, 本研究采用了参数化的方法, 建立了电动牙刷造型设计与用户感知之间的模型, 这一模型可以协助设计师更好地进行产品设计。首先, 我们收集了电动牙刷样本, 并以电动牙刷的简单造型要素筛选出代表性样本; 同时收集有关用户对电动牙刷的意象感知词汇, 使用人工分组和多元尺度分析法对这些词汇进行分群。其次, 我们采用了单因素造型变量分析, 以控制在电动牙刷造型设计中单一造型要素的改变对用户意象感知的影响; 建立了电动牙刷造型与用户意象感知空间, 基于数量化I类理论建立电动牙刷造型和意象感知之间的多元回归模型。使用验证样本验证模型的有效性, 结果显示所有样本的预测值和实验值的显著性均小于0.05, 显著相关, 证明模型有效。使用该模型指导电动牙刷造型设计, 进一步从实际设计应用角度证实模型能够有效指导电动牙刷造型意象设计, 提高了电动牙刷造型上用户意象需求与最终的用户意象感知的契合度, 为电动牙刷造型设计提供了一个切实可行的模型。

关键词

造型要素, 意象感知, 数量化I类

Research on Parameterized Design of Electric Toothbrush Styling Based on Image Perception

Zuoya Jiang¹, Li Lin², Jinmeng Wu²

¹Key Laboratory of Modern Manufacturing Technology, Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang Guizhou

²School of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Sep. 22nd, 2023; accepted: Dec. 22nd, 2023; published: Dec. 29th, 2023

文章引用: 江作亚, 林丽, 吴金梦. 基于意象感知的电动牙刷造型参数化设计研究[J]. 设计, 2023, 8(4): 4193-4206.

DOI: 10.12677/design.2023.84512

Abstract

In order to improve the consistency between the modeling design of the electric toothbrush styling and the user image perception, this study uses the parametric method to establish a model between the modeling design of the electric toothbrush styling and the user perception. This model can help designers to better design products. Firstly, we collected samples of electric toothbrushes and selected representative samples based on the simple styling elements of electric toothbrushes; at the same time, the user's image perception vocabulary of electric toothbrush is collected, and these words are grouped by manual grouping and multi-scale analysis. Secondly, we adopt the single factor modeling variable analysis to control the influence of the change of single modeling element on the user's image perception in the design of electric toothbrush styling; the electric toothbrush styling and user image perception space are established, and the multiple regression model between electric toothbrush styling and image perception is established based on the quantitative class I theory. The validation samples were used to verify the validity of the model. The results showed that the significance of the predicted values and experimental values of all samples was less than 0.05, which was significantly correlated and proved that the model was effective. Using this model to guide the modeling design of electric toothbrush styling, it is further confirmed from the perspective of practical design application that the model can effectively guide the modeling image design of electric toothbrush styling, and improve the fit between user image demand and final user image perception in the styling of electric toothbrush.

Keywords

Styling Elements, Image Perception, Quantification Class I

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

后疫情时代,健康是备受人们关注的话题[1],受到健康产业的影响,牙齿健康也受到人们密切关注,电动牙刷由于较手动牙刷有更好的便捷性和洁净效率,广泛受到消费者的青睐。为了增强用户对电动牙刷的体验感并提高电动牙刷的购买,众多研究者意识到消费者的意象感知对购买决策有决定性作用[2],而产品造型是引起用户产生不同意象感知的主要设计要素。为了提高电动牙刷造型和用户意象感知的契合度,有必要探索电动牙刷造型设计和用户意象感知之间的关系。

目前,已有学者围绕产品意象感知和产品造型的关系展开研究,李明珠等人[3]通过分析产品造型,从形态、相互位置和比例3个方面提取了对意象感知有关键影响的造型设计要素;应用数量化理论I类建立了意象感知词汇与造型设计要素间的关联,并构建数学模型,以辅助产品意象造型设计;李强等人[4]对女性电动牙刷进行CMF分析,通过多元线性回归找到女性电动牙刷质感设计要素与用户意象感知之间的关系,为新产品研发提供客观的参考。由此可见,多元回归线性的方法是研究产品设计要素与用户感知的有效方法。为实现电动牙刷造型设计要素与用户意象感知之间的相互推导,以探索用户意象感知对电动牙刷造型设计的指导作用,本研究引入了多元线性回归的方法来进行研究。

为了研究电动牙刷造型和用户意象感知的关系,需要将造型要素拆解为小单位的设计要素,同时测

量用户对电动牙刷的意象感知，以建立造型设计要素与意象感知的数学关系，从而为造型创新设计提供科学依据。

2. 相关研究

2.1. 意象感知

意象感知是用户产生的知觉反应，意象是人主观的情感、想法和外在事物相碰撞产生的心理综合感觉。产品造型意象感知产生于用户对产品造型认知过程，是通过自身视觉感官通道对造型进行意象需求获取、联想与再创造的结果。用户对产品的意象感知指的是用户对产品呈现出来的情感感受，强烈的情感是决策的核心要素[5]。意象感知是用户形成的对产品的感情化记忆，契合用户意象感知的产品可以增强用户的体验感和购买欲。

由于意象感知的重要性，学者[6]通过调查消费者对陶瓷的意象感知，分析了 CMF 理念与陶瓷文创产品设计的内在关系，提出将 CMF 理论应用于陶瓷文创产品开发，更能体现设计的个性化和人性化，以达到消费者的情感认同。还有学者通过对童车前脸造型视觉意象因子的提炼，提出基于意象感知的造型设计方法，优化儿童的视觉感受并提升其在使用过程中的心理愉悦度[7]。学者们利用消费者对产品的意象感知进行的研究，在设计中引入了用户的意象需求，设计出更贴合用户意象感知的产品。强烈的情感是决策的核心要素，意象感知是用户对产品积极的情感体验，增强电动牙刷表征的意象，以提供产品意象表征与用户意象感知的契合度有利于提高用户对电动牙刷的情感体验感，从而提高用户的购买决策。

2.2. 造型设计要素分解

一般认为，产品形态是产品的物质载体，传达了产品的物质功能与精神功能，是设计师与用户进行沟通的重要媒介，而造型是形态中最重要的部分。设计师通过产品造型设计将设计师的思想和理念传达给用户，用户通过产品形态特征产生对产品的感受与理解，其核心在于表达与沟通[8]。

为了使产品造型能更好的沟通设计师思想和用户意象需求，研究人员围绕用户意象需求进行了产品造型分解研究。Yan Zhou 等[9]以手机模型为研究对象，利用形态分析法对手机形态进行解构分析，完成对使用者、手机形态设计元素之间的相关关系分析与研究。李恩田等人[10]运用形态分析法解构中国北方游牧民族饮器造型元素，建立反应矩阵，以数量化 I 类理论构建意象感知与造型对应关联模型，为中国北方游牧民族饮器造型再设计提供了高效的指导路径。以上研究基于形态学，对产品进行造型要素分解，从而按照用户需求进行产品造型的精确设计以及创新。造型要素分解可以细化设计要素，进一步精确需要设计的造型要素，从而提高设计的准确性。

2.3. 数量化理论 I 类

数量化理论是多元统计分析的一个重要分支，最早由日本学者林知己夫在 20 世纪 50 年代提出。根据研究问题的不同目的和性质，数量化理论被分为了四个主要类别，分别是数量化理论 I, II, III 和 IV [11]。在这些类别中，数量化理论 I 类受到了广泛的关注。数量化理论 I 类主要应用于处理那些自变量为定性变量、而因变量为定量变量的情况。它通过运用多元回归分析方法，构建了数学模型，旨在解决对因变量的精确预测问题。这一方法不仅有助于揭示事物之间的内在联系和规律，还在产品意象造型设计的研究领域得到了广泛应用。在国内外的研究中，许多学者已经成功地将数量化理论 I 类引入到产品造型和意象感知的数学关系研究中。通过这种方法，他们取得了令人瞩目的成果[12] [13] [14]。因此数量化 I 类理论是研究电动牙刷造型和意象感知数学关系的有效方法。

3. 研究内容

首先收集并以简单造型要素筛选电动牙刷样本，同时收集意象感知词汇并进行聚类分析；得到代表样本和代表意象感知词后，制作李克特量表邀请用户进行打分，获取用户对电动牙刷的意象感知，得到用户的意象感知空间；将数据导入 SPSS 进行回归分析，建立用户意象感知与电动牙刷造型的回归模型，研究流程见图 1。

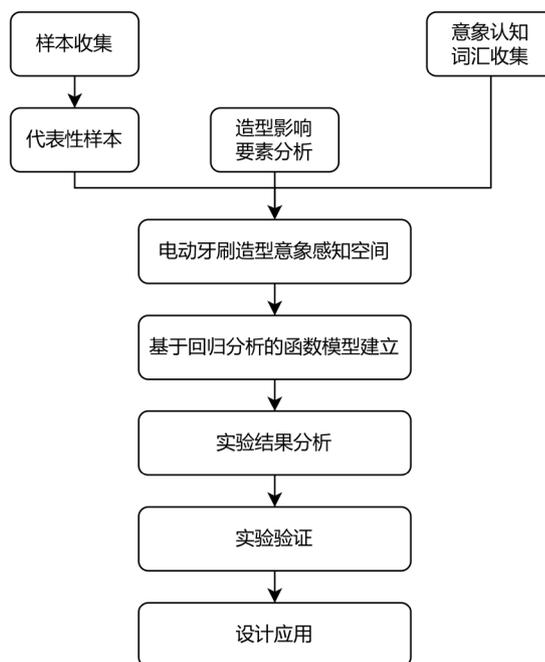


Figure 1. Research process

图 1. 研究流程^①

3.1. 确定代表性样本

需要收集尽可能多的造型的电动牙刷样本，从网站广泛搜集国内外不同品牌、不同款式、不同造型的电动牙刷样本共 195 张图片，建立电动牙刷样本集。根据样本集样本，进行简单的造型因素分析，代表性样本的选取标准见表 1。首先确定主要影响本产品造型的因素有刷头直径、主体与回车专线夹角、回转线形状与方式等。

Table 1. Analysis of simple modeling elements of electric toothbrush

表 1. 电动牙刷简单造型要素分析

项目	类目	类目定义
刷头直径 X_1	直径大 X_{11}	刷头直径 \geq 主体直径的 $2/3$
	直径中 X_{12}	主体直径 $1/3 <$ 刷头直径 $<$ 主体直径的 $2/3$
	直径小 X_{13}	刷头直径 \leq 主体直径的 $2/3$
主体与回转线夹角 X_2	无夹角 X_{21}	回转线呈竖直线
	夹角小 X_{22}	夹角呈锐角
	夹角大 X_{23}	夹角呈钝角

Continued

回转线形状与方式 X_3	直角回转线 X_{31}	回转线有直角
	圆角回转线 X_{32}	回转线有圆角
	不完全回转线 X_{33}	回转方式为回转 + 平移

根据表 1 的电动牙刷造型要素筛选出代表性样本, 对代表性样本进行去色去背景处理, 以减少杂乱的背景和不相关要素造成的干扰。最终获取的代表性样本见图 2。

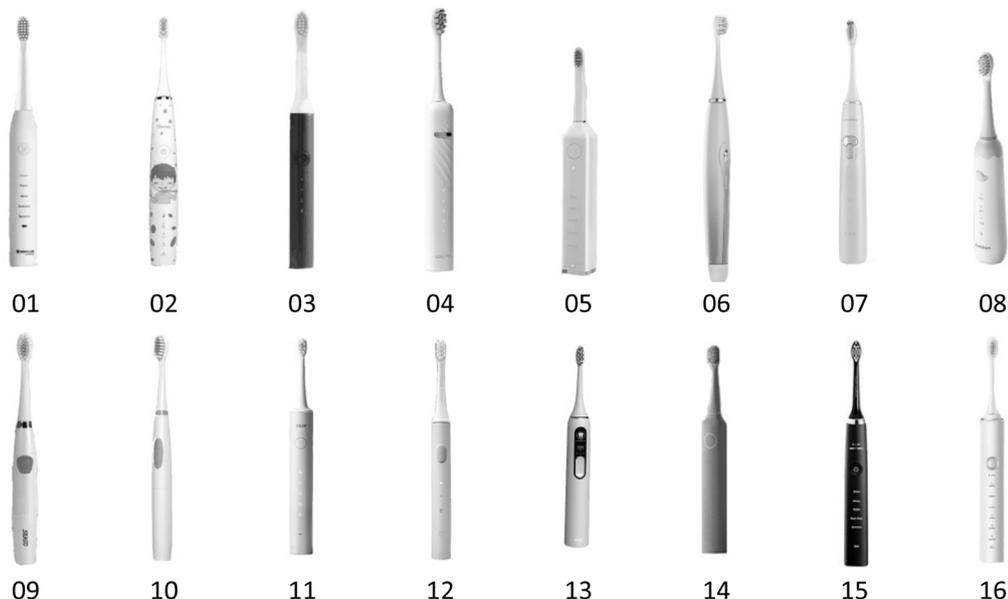


Figure 2. Representative sample code
图 2. 代表性样本编码^②

3.2. 意象感知词汇选取

相关杂志、产品型录、广告文案、相关网站等渠道收集用户对电动牙刷的意象感知词汇, 选取能够准确描述用户对电动牙刷样本感受的词汇, 经过初步筛选, 保留了 93 个可表征意象感知的词汇建立电动牙刷意象感知词汇集。

然后邀请用户从已有的词汇里面筛选出合适描述电动牙刷造型意象的词语。由于有 93 个词汇, 为方便后面的研究, 最终将选取投票前二分之一的词语进行后续的研究工作。邀请有电动牙刷使用经验或对电动牙刷有一定了解的, 本科及以上学历人员 26 名。邀请被试观察所给样本后, 结合实际经验, 勾选出认为最适合形容电动牙刷的形容词, 每个人至多勾选 5 个, 至少勾选 1 个。将形容词词汇被勾选的次数加以统计, 最终得到 43 个形容词。

使用人工分群法, 招募有电动牙刷使用经验或对电动牙刷有一定了解的, 本科及以上学历人员 20 名。请受测者在仔细看过形容词后, 应用人工分类法把他们认为具有相近意义的形容词的序号填在相同栏目里, 每群之间的数量可以不一样, 人工分为 10 个群。将分群数据整理后, 用 43×43 的相似性矩阵统计, 输入 SPSS 进行分群, 以二维到七维的多元尺度法展开分析, 分群结果见图 3, 最终聚类为 6 类。从每一类中选取一个最具有概括性的词语作为代表词语, 最终选择了六个意象感知词汇作为代表词汇, 分别是精致的、舒适的、简约的、时尚的、易用的、笨重的。

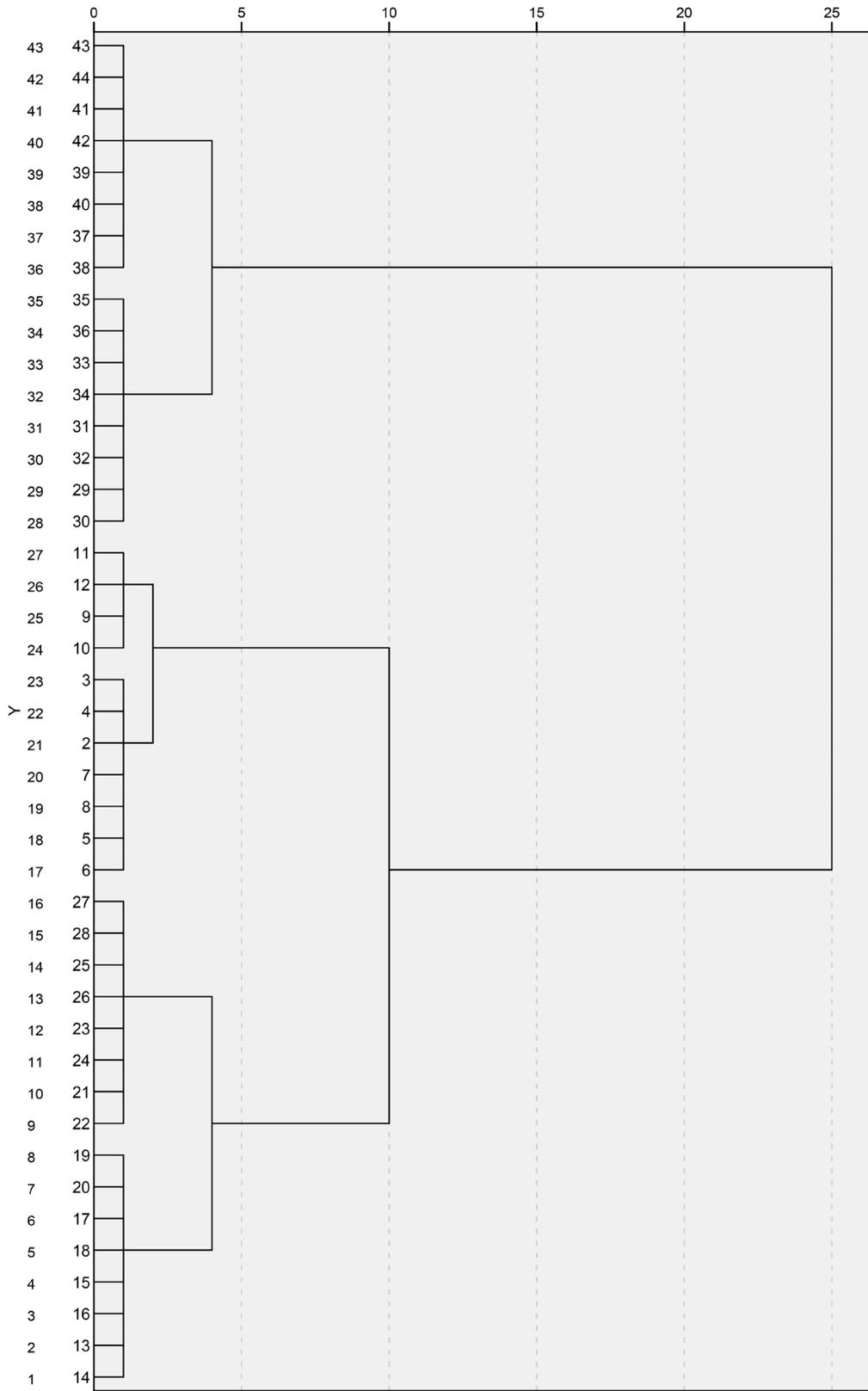


Figure 3. Pedigree chart
图 3. 谱系图[®]

3.3. 构建基于用户意象感知的电动牙刷造型意象空间

为了提高评估结果,提高描述准确性,对筛选出来的代表性意象感知词汇根据词语的含义进行配对,不一定是意思完全相反的反义词,只要代表电动牙刷能带来的不同方向的情感感受的词汇对即可,感知词汇配对结果见表 2。将词汇配对的目的是为了制作量表,可以尽可能的衡量用户对电动牙刷的意象感知;相反词汇对一般代表情绪的两端,使用李克特量表量化用户的意象感知,如将非常精致的转化为 1 分,将非常庸俗的转化为 5 分。

Table 2. Representative imagery perception vocabulary

表 2. 代表性意象感知词汇对

代表性意象感知词汇对		
精致的 - 庸俗的 Y_1	舒适的 - 难受的 Y_2	简约的 - 繁复的 Y_3
时尚的 - 过时的 Y_4	易用的 - 复杂的 Y_5	轻便的 - 笨重的 Y_6

在对形态造型要素分析中,对电动牙刷的造型进行形态分析,分解出关键机身造型要素,定造型设计要素的关键类目。共获得 5 个项目,共计 12 个类目,每一个类目定义见表 3。

Table 3. Classification table of styling elements

表 3. 造型要素类目表

项目	类目	类目定义
刷头直径 X_1	直径大 X_{11}	刷头直径 \geq 主体直径的 1/2
	直径小 X_{12}	刷头直径 $<$ 主体直径的 1/2
回转线弯曲次数 X_2	不弯曲 X_{21}	无弯曲
	弯曲 X_{22}	弯曲 1 次及以上
回转线弯曲范围 X_3	弯曲范围大 X_{31}	弯曲程度 $>$ 手柄 1/2
	弯曲范围小 X_{32}	弯曲程度 \leq 手柄 1/2
过渡快慢 X_4	快 X_{41}	刷头与手柄接触处往下 1/3 (包括 1/3)
	中 X_{42}	刷头与手柄接触处往下 1/3~2/3 (包括 2/3)
	慢 X_{43}	刷头与手柄接触处往下 2/3 以后
刷头长度/手柄长度 X_5	长 X_{51}	刷头长度/手柄 $>$ 1/2
	短 X_{52}	刷头长度/手柄 \leq 1/2

将造型要素编码,对于造型要素表进行参数化处理,参数化处理结果见表 4,表中数据 1 代表该样本具有该项目中该类目的属性,数据 0 代表该样本无该项目中该类目的属性。将用户对样本的定性描述转化成为可以被处理的定量的描述。

Table 4. Coding table for modeling elements of electric toothbrush

表 4. 电动牙刷造型要素编码表

样本	直径大 X_{11}	直径小 X_{12}	不弯曲 X_{21}	弯曲少 X_{22}	弯曲范围大 X_{31}	弯曲范围小 X_{32}	过渡快 X_{41}	过渡中 X_{42}	过渡慢 X_{43}	长 X_{51}	短 X_{52}
01	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0

Continued

02	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0
03	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
04	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0
05	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1
06	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1
07	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1
08	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0
09	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0
10	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1
11	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1
12	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
13	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0
14	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
15	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0
16	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1

在具体的某一类意象感知下，某一位测试者针对其中每一个样本的造型设计要素类目进行语义差异法(Semantic Difference, SD)打分，得到如公式(1)的意象感知空间。

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

其中 $A_{i,j}^{m,n}$ 为第 m 个评价者对第 n 类子意象感知的第 i 个评价样本，第 j 个设计项目的意象感知值。那么针对第 m 个评价者对第 n 类子意象感知下所有样本的感知空间上述公式所示。根据形态造型影响因素表和各类目的定义可以清楚地了解每个项目和所有类目的定义描述，由此整理出 21 名被试，16 个样本的造型形态要素的对应意象感知平均分表，具体得分见表 5。

Table 5. Average perception score of electric toothbrush shape image
表 5. 电动牙刷造型意象感知平均分表

样本	精致的 Y_1	舒适的 Y_2	简约的 Y_3	时尚的 Y_4	易用的 Y_5	轻便的 Y_6
01	1.51	2.34	2.73	2.59	2.52	2.79
02	1.25	1.24	2.06	1.98	1.24	0.98
03	2.35	2.03	2.50	3.01	2.03	3.43
04	4.59	4.37	3.46	3.98	2.59	4.27
05	0.87	4.06	3.67	4.53	2.61	4.68
06	0.68	0.74	2.01	1.06	0.53	0.95

Continued

07	0.73	0.95	1.84	1.68	1.01	1.34
08	1.37	2.06	2.98	3.02	1.98	2.67
09	1.95	2.49	2.87	2.31	2.04	2.40
10	2.05	2.37	2.34	4.01	1.25	2.34
11	2.58	2.65	2.04	3.84	1.67	3.17
12	2.68	2.67	2.49	2.34	1.76	2.03
13	2.43	2.01	2.14	3.98	1.54	3.54
14	2.53	3.67	1.47	3.51	2.34	3.87
15	4.59	2.37	4.21	2.31	2.67	1.64
16	2.97	2.28	4.01	2.13	2.47	2.56

3.4. 基于回归分析的电动牙刷造型要素模型建立

以参数化处理后的设计特征的数值作为自变量,以测试人员对电动牙刷造型的意象感知词汇评价平均值作为因变量,将数据导入 SPSS 统计软件,对所得数据进行多元线性回归分析。回归分析后可得复相关系数、类目得分等数据,整理后可得标准化的类目得分,其结果见表 6。

Table 6. Classification table of styling elements

表 6. 造型要素类目表

项目	类目	精致的 Y_1		舒适的 Y_2		简约的 Y_3		时尚的 Y_4		易用的 Y_5		轻便的 Y_6	
		类目得分	范围										
刷头直径 X_1	X_{11}	0.340	0.515	0.241	1.013	-0.080	1.431	-0.527	0.212	-0.437	0.042	0.883	0.766
	X_{12}	0.855		-0.772		1.351		-0.315		-0.395		-0.117	
回转线弯曲次数 X_2	X_{21}	1.458	2.747	0.448	0.615	-1.833	3.360	-0.315	2.220	-0.140	0.752	-0.389	0.212
	X_{22}	-1.141		0.957		1.527		1.905		0.536		-0.234	
	X_{23}	1.606		0.342		0.034		1.806		-0.216		-0.176	
回转线弯曲范围 X_3	X_{31}	-1.529	1.083	1.246	3.354	0.362	0.700	-0.116	0.774	-0.524	0.089	0.184	1.951
	X_{32}	-0.446		-2.108		0.338		-0.890		-0.435		-1.767	
过渡快慢 X_4	X_{41}	2.125	3.067	2.938	4.254	-1.018	2.096	1.308	3.499	-0.612	1.449	2.180	3.510
	X_{42}	-0.531		-0.364		-2.353		-1.204		-0.836		-1.330	
	X_{43}	-0.942		-1.316		-0.257		-2.191		-0.354		-0.540	
刷头/手柄 X_5	X_{51}	-0.652	0.483	-0.834	1.021	-0.642	0.743	-0.046	0.466	-0.162	0.092	0.134	0.739
	X_{52}	-1.135		0.187		0.101		-0.420		-0.070		0.873	
常数项		1.610		2.205		4.558		2.988		2.372		2.973	
复相关系数		0.875		0.890		0.666		0.795		0.828		0.882	
决定系数		0.499		0.556		0.444		0.632		0.685		0.778	

表中类目得分的高低说明该项目解释意象感知的高低程度, 类目得分既有正值又有负值, 正值代表正向的意象感知, 而负值代表对应的负向意象感知。比如对于“精致的-庸俗的”这一意象感知词汇, 正的类目得分代表这一要素的出现会增加造型的“精致的”的意象感知, 而数值越大则代表解释的程度越高, 相反, 负值代表这一要素的出现会削弱造型的“精致的”意象感知, 数值的绝对值越大代表削弱的程度越高。范围是每个要素中最大类目得分与最小类目得分差值, 用于衡量每个项目在整体预测中的贡献程度。比如对于“精致的-庸俗的”这一对意象感知词汇, 回转线过渡快慢的范围最大, 那么由此可以推断, 在影响电动牙刷造型的“精致的”意象感知的造型要素中, 这一意象感知的改变对回转线过渡快慢最为敏感, 同时也是最为重要。由上述表格及分析, 得到 6 个意象感知词汇与造型设计要素组成要素之间联立的回归方程式:

$$Y_1 = \begin{Bmatrix} 0.340 \times X_{11} \\ 0.855 \times X_{12} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 1.458 \times X_{21} \\ -1.414 \times X_{22} \\ 1.606 \times X_{23} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -1.529 \times X_{31} \\ -0.446 \times X_{32} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 2.125 \times X_{41} \\ -0.531 \times X_{42} \\ -0.942 \times X_{43} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -0.652 \times X_{51} \\ -1.135 \times X_{52} \end{Bmatrix} + 1.610 \quad (2)$$

$$Y_2 = \begin{Bmatrix} 0.241 \times X_{11} \\ -0.772 \times X_{12} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0.448 \times X_{21} \\ 0.957 \times X_{22} \\ 0.342 \times X_{23} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 1.246 \times X_{31} \\ -2.108 \times X_{32} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 2.938 \times X_{41} \\ -0.364 \times X_{42} \\ -1.316 \times X_{43} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -0.834 \times X_{51} \\ 0.187 \times X_{52} \end{Bmatrix} + 2.205 \quad (3)$$

$$Y_3 = \begin{Bmatrix} -0.080 \times X_{11} \\ 1.351 \times X_{12} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -1.833 \times X_{21} \\ 1.527 \times X_{22} \\ 0.034 \times X_{23} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0.362 \times X_{31} \\ -0.338 \times X_{32} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -1.017 \times X_{41} \\ -2.353 \times X_{42} \\ -0.257 \times X_{43} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -0.642 \times X_{51} \\ 0.101 \times X_{52} \end{Bmatrix} + 4.558 \quad (4)$$

$$Y_4 = \begin{Bmatrix} -0.527 \times X_{11} \\ -0.315 \times X_{12} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -0.315 \times X_{21} \\ 1.905 \times X_{22} \\ 1.806 \times X_{23} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -0.116 \times X_{31} \\ -0.890 \times X_{32} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 1.308 \times X_{41} \\ -1.204 \times X_{42} \\ -2.191 \times X_{43} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -0.046 \times X_{51} \\ 0.420 \times X_{52} \end{Bmatrix} + 2.988 \quad (5)$$

$$Y_5 = \begin{Bmatrix} -0.437 \times X_{11} \\ -0.395 \times X_{12} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -0.140 \times X_{21} \\ 0.536 \times X_{22} \\ -0.216 \times X_{23} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -0.524 \times X_{31} \\ -0.435 \times X_{32} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0.612 \times X_{41} \\ -0.836 \times X_{42} \\ -0.354 \times X_{43} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -0.162 \times X_{51} \\ -0.070 \times X_{52} \end{Bmatrix} + 2.372 \quad (6)$$

$$Y_6 = \begin{Bmatrix} -0.883 \times X_{11} \\ -0.117 \times X_{12} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -0.389 \times X_{21} \\ -0.234 \times X_{22} \\ -0.176 \times X_{23} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0.184 \times X_{31} \\ -1.767 \times X_{32} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 2.180 \times X_{41} \\ -1.330 \times X_{42} \\ -0.540 \times X_{43} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0.134 \times X_{51} \\ 0.873 \times X_{52} \end{Bmatrix} + 2.973 \quad (7)$$

3.5. 模型结果分析

对“精致的-庸俗的 Y_1 ”意象贡献率最高的造型要素为回转线过渡快慢(范围值为 3.067); 贡献率最低的造型要素为刷头/手柄长度的比(范围值为 0.483)。说明在对电动牙刷进行“精致的-庸俗的”意象感知时, 回转线过渡快慢这一造型因素起到了最主要的作用, 而刷头/手柄长度比的影响作用最小。“精致的-庸俗的”得分最高的要素组合为: 刷头直径大 + 回转线弯曲 1 次 + 回转线弯曲范围大 + 过渡快 + 较长刷头。

归纳以上分析, 可以看出, 在对电动牙刷造型感意象的影响因素中, 回转线弯曲位置的影响最大, 其次是回转线弯曲范围。

3.6. 模型验证

为了进一步了解该模型计算出来的意象感知得分值与人的心理感受是否真实相符, 需要进行检验。

首先由被试者对验证样本进行主观意象感知评价实验，再将该模型的计算值与实际值进行成对 T 检验，从而可以验证分析结果可信度。

选择非实验样本中的其他样本作为验证样本，验证样本编码见图 4。将样本的造型要素编码，编码结果见表 7。编码后将造型要素带入多元回归方程中，计算出验证样本的意象感知得分，将其与实际评测数据进行成对 T 检验，用以判断该模型的可信度。



Figure 4. Verify sample code
图 4. 验证样本编码^④

Table 7. Verification sample shape element coding table
表 7. 验证样本造型要素编码表

样本	直径大 X_{11}	直径小 X_{12}	不弯曲 X_{21}	弯曲少 X_{22}	弯曲 范围大 X_{31}	弯曲 范围小 X_{32}	过渡快 X_{41}	过渡中 X_{42}	过渡慢 X_{43}	长 X_{51}	短 X_{52}
01	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0
02	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0
03	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1
04	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1

将验证样本造型组成要素特性代入多元回归方程中，计算出其意象得分。以样本 1 “精致的 - 庸俗的” 意象得分计算为例： $Y_1 = 0.855 + 1.606 - 0.446 + 2.125 - 1.135 + 1.160 = 4.165$ ，同理，计算出 4 个样本的 6 个意象感知的得分值，见表 8。

Table 8. Validate sample shape image perception model scores
表 8. 验证样本造型意象感知模型得分

样本	精致的 Y_1	舒适的 Y_2	简约的 Y_3	时尚的 Y_4	易用的 Y_5	轻便的 Y_6
01	4.165	1.892	4.689	2.592	0.902	3.966
02	4.165	1.892	4.689	2.592	0.902	3.966
03	0.915	0.871	4.646	3.113	0.239	1.668
04	1.653	1.381	4.008	4.738	2.486	2.403

邀请 28 名被试进行 5 阶语义差异法的问卷调查，对 4 个电动牙刷样本就 6 个意象感知进行打分，统计所有被试的问卷情况后，将各意象感知得分平均值进行整理，测试得分见表 9。

Table 9. Verification of sample shape image perception test scores**表 9.** 验证样本造型意象感知测试得分

样本	精致的 Y_1	舒适的 Y_2	简约的 Y_3	时尚的 Y_4	易用的 Y_5	轻便的 Y_6
01	3.857	2.125	4.021	3.001	1.573	3.846
02	3.707	1.485	4.033	2.504	1.834	3.994
03	1.042	1.152	3.941	2.817	1.314	1.704
04	1.541	1.537	3.927	4.815	2.654	2.315

将计算值与评价得分输入 SPSS，进行成对 T 检验，结果见表 10。结果显示所有样本的计算值和实验值的相关系数均较大，均大于 0.702，有很大的相关性；最大的为 0.998，表明相关性非常高。所有样本的显著性均小于 0.05，可以认为所有样本意象感知的计算值和实验值都具有显著相关性，即证实了模型的有效性。

Table 10. Paired sample T-test results**表 10.** 成对样本 T 检验结果

	个案数	相关性	显著性
配对 1	4	0.998	0.002
配对 2	4	0.760	0.240
配对 3	4	0.702	0.298
配对 4	4	0.958	0.042
配对 5	4	0.983	0.017
配对 6	4	0.998	0.002

3.7. 计算机辅助电动牙刷设计应用

根据市场调研可知，当前市场上对电动牙刷的最大需求为“时尚的、精致的、轻便的”，由此设计了两款电动牙刷。基于对造型要素的考虑，为减少其他干扰，控制色彩和材质的影响，仅仅在造型上有所变化。由表 6 可知，对“时尚的、精致的、轻便的”造型意象影响最大的设计要素是过渡快慢，因此着重对电动牙刷造型的过渡快慢进行设计。两款电动牙刷方案见表 11。

Table 11. Design scheme**表 11.** 设计方案[®]

对设计方案使用模型预测意象感知得分, 得分见表 12。然后, 邀请了 36 名被试, 对两个方案进行意象感知打分, 得到的结果见表 13。

Table 12. Design scheme design image perception model score

表 12. 设计方案造型意象感知模型得分

方案	精致的 Y_1	舒适的 Y_2	简约的 Y_3	时尚的 Y_4	易用的 Y_5	轻便的 Y_6
一	1.563	3.399	4.008	4.738	2.036	2.367
二	2.856	3.99	4.544	2.874	1.083	2.349

Table 13. Design scheme design image perception test score

表 13. 设计方案造型意象感知测试得分

方案	精致的 Y_1	舒适的 Y_2	简约的 Y_3	时尚的 Y_4	易用的 Y_5	轻便的 Y_6
一	2.031	3.049	3.757	2.97	1.956	2.430
二	2.655	3.769	3.972	2.653	1.191	2.496

对比表 12 和表 13 各意象感知词汇中各方案的相对得分高低。除“时尚的”意象感知得分, 方案 1 预测值与被试打分平均值差异较大; 其余预测值与被试打分平均值差异很小, 且趋势一致。可见, 基于数量化 I 类理论构建的造型意象感知模型能够辅助设计师设计, 在造型上提高用户意象需求和意象感知的契合度。

4. 结语

本研究基于形态分析分解了电动牙刷造型, 并量化用户意象感知, 运用数量化 I 类理论建立电动牙刷造型设计要素与意象感知的多元回归模型, 从而获取了意象感知与造型要素的数学关系, 为设计师在电动牙刷造型设计中提供了科学的设计方法, 可以更精确地按照用户意象需求进行造型设计, 辅助设计师进行设计活动。

本研究基于形态分析法分解电动牙刷造型, 建立其与用户意象感知的相关关系。纵使是基于形态分析进行造型要素分解, 也避免不了在造型设计要素提取中不够严谨, 在往后的研究中可以考虑更加贴合产品本身的造型要素分解方法, 或是有更严谨科学的分解方式, 以覆盖更全面的造型要素或产品类型。此外, 造型要素与其他设计要素对用户意象感知的交互影响也值得被探索。

基金项目

本课题来源于贵州省科学技术基金资助项目黔科合基础(ZK[2021]055)。

注 释

- ①图 1 来源: 作者自绘
- ②图 2 来源: 电商平台 <https://www.taobao.com/>搜索结果
- ③图 3 来源: 作者自绘
- ④图 4 来源: 电商平台 <https://www.taobao.com/>搜索结果
- ⑤表 11 来源: 作者自绘

参考文献

- [1] 孙抱朴. 后疫情时代, 大健康产业将如何构建“健康中国”基础[J]. 中国商界, 2021(Z1): 40-41.

-
- [2] Kuo, J.-Y., Chen, C.-H., Roberts, J.R. and Chang, D. (2020) Evaluation of the User Emotional Experience on Bicycle Saddle Designs via a Multi-Sensory Approach. *International Journal of Industrial Ergonomics*, **80**, 103039. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.103039>
- [3] 李明珠, 卢章平, 黄黎清. 基于眼动实验与语义差分的汽车造型意象认知研究[J]. 艺术教育, 2016(4): 212-214.
- [4] 李强, 黄黎清, 李明珠. 女性电动牙刷质感意象认知与设计[J]. 包装工程, 2022, 43(8): 108-114+136.
- [5] Gutierrez-Garcia, J.O. and López-Neri, E. (2015) Cognitive Computing: A Brief Survey and Open Research Challenges. *2015 3rd International Conference on Applied Computing and Information Technology/2nd International Conference on Computational Science and Intelligence*, Okayama, 12-16 July 2015, 328-333. <https://doi.org/10.1109/ACIT-CSI.2015.64>
- [6] 岳岩, 霍兴宇, 汪双春. CMF 在陶瓷文创产品设计中的应用研究[J]. 中国陶瓷, 2020, 56(5). 84-90.
- [7] 李闯, 张丙辰, 王艳群, 杨俞玲, 宋丽姝. 基于情感认知的童车前脸造型设计研究[J]. 包装工程, 2020, 41(6): 211-217.
- [8] 许占民, 张全, 景韶宇, 陆长德. 面向产品造型设计的形态风格描述模型构建[J]. 计算机应用研究, 2005(11): 38-41.
- [9] Zhou, Y., Yang, P. and Wang, S.Y. (2014) Research of Kansei Image Based on Product Appearance Form Deconstruction. *Advanced Materials Research*, **971-973**, 1316-1320. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.971-973.1316>
- [10] 李恩田, 王绍东, 雷青. 基于形态分析法的中国北方游牧民族饮器造型元素提取及应用研究[J]. 包装工程, 2022, 22(43): 425-433.
- [11] 夏立显, 董文泉, 周光亚. 数量化理论及其应用[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1979.
- [12] 于娜, 张聪, 杜游, 王华. 基于数量化理论的家具造型意象设计[J]. 包装工程, 2018, 39(22): 183-188.
- [13] 程永胜, 徐骁琪. 用户感性需求驱动下的产品造型意象设计研究[J]. 机械设计与制造, 2023(8): 247-252.
- [14] 马东明, 孙山, 钱皓. 基于感性工学的马拉松赛事奖牌的设计研究[J]. 包装工程, 2021, 42(6): 239-246+271.