

桌面机械臂产品语义通用性研究

花雨张, 刘林

(华南理工大学, 广州 510006)

摘要: **目的** 为提高桌面机械臂的用户接受度, 提出产品语义通用性概念, 得到一种合理有效的设计方法。**方法** 运用视觉动力学理论, 分析现有桌面机械臂外观, 提取其形态中包含的设计元素, 总结造型方法; 根据视觉动力数量与产品语义的联系建立等级, 完成对产品语义的量化描述; 通过层次分析法分析桌面机械臂在用户年龄、用户性别、产品使用场景的产品语义通用性权重, 结合两方面的结论对其进行设计从而得到目标产品语义。以桌面机械臂外观造型设计为例, 验证设计方法的科学性。**结论** 视觉动力学理论可以帮助构建产品外观与产品语义通用性的关系, 与层次分析法结合能指导桌面机械臂的设计。

关键词: 桌面机械臂; 产品语义通用性; 视觉动力; 层次分析法

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)02-0123-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.02.019

Semantic Universality of Desktop Robotic Arm

HUA Yu-zhang, LIU Lin

(South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: The work aims to propose the semantic universality of product and obtain a reasonable and effective design method to improve the user acceptance of educational desktop robotic arm. The visual dynamics theory was used to analyze the appearance of the existing desktop robotic arm, extract the design elements contained in its shape and summarize the corresponding modeling methods. Then, according to the relationship between the number of visual dynamics and the product semantics, the grade was established, and the quantitative description of product semantics was completed. The weight of product semantic universality of desktop robotic arm in three aspects: user age, user gender and product use scenarios was given. Finally, the target product semantics was obtained by combining the two conclusions. Taking the appearance design of desktop robotic arm as an example, the scientific nature of the design method was verified. Visual dynamics theory can help to build the relationship between product appearance and product semantic universality, and can further guide the design of desktop robotic arm combined with Analytic Hierarchy Process (AHP).

KEY WORDS: desktop robotic arm; product semantic universality; visual dynamics; AHP

随着人工智能的兴起, 桌面机械臂作为新产品逐渐进入人们的视野, 科普教育是其目前主要发挥作用的领域。由于对桌面机械臂的产品语义通用性的研究表达不充分, 设计者开发此类产品时很难确定与目标用户相关的信息。

当前, 桌面机械臂和产品语义在设计领域中, 分

别已经被许多学者从不同角度进行过研究。章浩等人^[1]设计了一款自动称重桌面机械臂及控制系统, 提出了新的控制结构和应用场景; 张伟业等人^[2]设计了一种新型桌面机械臂, 改良其性能和结构, 并未对桌面机械臂的外观与用户之间的关系做出研究; 杨亮等人^[3]将视觉伺服加入研制了桌面型机械臂创新实验

收稿日期: 2020-09-12

作者简介: 花雨张(1992—), 男, 湖北人, 华南理工大学硕士生, 主攻产品设计方法、设计管理。

通信作者: 刘林(1960—), 男, 湖南人, 华南理工大学教授, 主要研究方向为工程制图、计算机图形学、计算机辅助设计、虚拟装配、产品造型等。



图1 教育型桌面机械臂的侧视图及组成

Fig.1 Side view and composition of educational desktop robotic arm

平台,挖掘了桌面机械臂在教育领域的应用潜力;于霁月^[4]提出了层次语义特征分析法概念,将服务型机器人造型设计要素与产品语义关联起来;邱柯等人^[5]将各种语义思维方式纳入到了产品设计方法中。目前针对桌面机械臂的产品语义研究还存在空白,本文以四轴桌面机械臂为例,运用视觉动力学理论及层次分析法对其进行研究。

1 桌面机械臂的外观造型

桌面机械臂是一种具有抓取和移动工件功能的多自由度自动化装置,相较于工业级的机械臂,其体积和臂展更小、成本更低、更强调直接的人机使用体验。本文探讨的桌面机械臂是一种四轴机械臂,主要由执行端、机械连杆、转动关节、驱动模块、底座五个部分组成。与其他智能产品的盒式结构相比,桌面机械臂的结构更多被暴露在外,因此其外观造型也相对更复杂。李然等人^[6]在探讨汽车造型时,因其复杂度较高,所以选择易于二维化的侧面造型进行研究。本文以桌面机械臂的侧面外观造型进行视觉动力分析,进而研究其产品语义。

目前公布的桌面机械臂并不多,越疆科技的Dobot魔术师是其中最新且最成熟的桌面机械臂产品,见图1,将执行端抽象成三角形连接件和矩形模块;机械臂(前、后)主要由长条状的连杆组成,将其构成区域抽象为较长的类矩形;转动关节由其运动方式被抽象成圆形;驱动模块的主要部分是舵机,本文根据舵机的形状将其抽象成矩形;底座可以被单独看作盒式结构的产品,也可以被抽象成一个矩形。以五个部分的抽象图形为基础,设计师可以构造桌面机械臂的侧面造型特征,进而规划产品视觉动力的分布和数量。

2 桌面机械臂的产品语义

2.1 桌面机械臂的产品语义与视觉动力的关系

最初由Arnheim R^[7]提出的视觉动力学理论引入了“力”的概念,被李想^[8]进一步在工业产品造型设

表1 视觉动力的基本造型方法

Tab.1 Basic modeling method of visual dynamics

抽象图形	变化图形	语义	抽象图形	变化图形	语义
		推压			推压
		扭曲			扭曲
		切断			切断
		拉伸			拉伸

计中归纳并应用,其核心思想为:当用户看到某些图形,在视觉上产生了力量感受,假设这个视觉力量是存在的,那么称其为视觉动力。因此,使用该方法可以对构成桌面机械臂侧面造型的抽象图形进行有效分析,见表1,基于矩形和圆形的几种基本造型方法,其中不同的视觉动力给用户造成的心理作用决定了变化图形的语义。

本文提出将视觉动力的基本造型方法引入桌面机械臂设计,让设计师自由演变和组合使用,以准确传递桌面机械臂各部分间的形态关系、暗示运动方式、美化功能结构的外观等。以Dobot魔术师的前臂部分为例,通过分析可以发现侧面图形中包含一对拉伸、两对扭曲、三个推压的视觉动力,见图2。拉伸视觉动力被用于连杆的镂空处理中,使其有向两端拉伸的张力,增添轻快之感;扭曲视觉动力被运用在外壳的下端造型中,使其产生被转动关节和执行端挤压的视觉效果,更显紧凑;推压视觉动力在外壳和连杆中均有运用,使其边缘轮廓产生被推压的视觉效果,制造柔和观感。所有的视觉动力共同形成了前臂部分的侧面造型,其代表的语义也在这个过程中得到累加,赋予了桌面机械臂的前臂部分以灵动、活泼的审美趣味。

随着视觉动力数量的变化,桌面机械臂的产品语义会发生相应的变化,那么意味着适合的用户类型也

会发生变化。青少年用户更喜好活泼张扬的产品外观，而成年用户则更青睐于简洁大方的外观设计。基于这样的情况，桌面机械臂的外观中包含的视觉动力数量于两者而言需求则不同。能够兼顾两者审美偏好的桌面机械臂的产品语义介于活泼张扬与简洁大方之间，没有明显的特征，难以用语言描述，给设计工作带来极大的不便。引入视觉动力学理论后，将所需的产品语义转化成视觉动力数量范围，桌面机械臂的产品语义便能量化描述。在调查中，发现当视觉动力数量超过 50 F 后，桌面机械臂的外观造型会因为过于复杂而引起不适。为了方便研究，将桌面机械臂的视觉动力数量在[0 F, 50 F]的范围内均等划分为五个等级，每个等级代表不同的产品语义，分别用 R1, R2, R3, R4, R5 表示，意味着视觉动力的丰富度逐级递增，见表 2。

2.2 影响桌面机械臂产品语义的用户因素分析

参考三维研究^[9]的方法对用户因素进行分析，个体特征指用户的年龄、性别、职业、收入等；需求喜好指用户对风格、色彩、文化的喜好；使用行为指用户的使用方式、使用渠道、使用过程。为了进一步确定影响桌面机械臂产品语义的用户因素，将调研对象设置为 13 岁以上，对桌面机械臂有操作或设计经验的人群，让其用 1~3 个词汇对现有的几款桌面机械臂进行口语描述并收回一百份有效问卷，目的是收集调研对象对桌面机械臂外观的心理感受、联想或者期望，见图 3。

李然等人^[10]构建了一套适用于工业设计师在实践项目中对产品语义提取的方法与流程。本文主要参考了文本整理的方式，将问卷调查内容做进一步处理，得到桌面机械臂的产品语义词汇，见表 3。其中与用户因素有关的高频词汇有：乐趣、炫酷、坚硬、冰冷、炫酷、柔和、便捷、工业、教育、活泼、高端、

稳重等。通过分析，总结出最重要的三个用户因素：用户年龄、用户性别、产品使用场景。

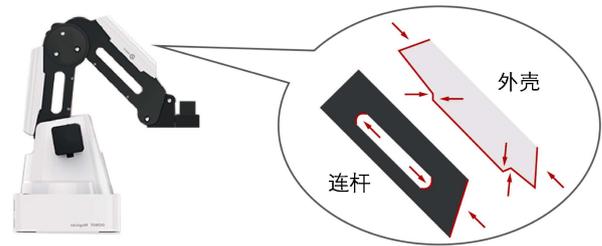


图 2 Dobot 魔术师前臂的视觉动力分析
Fig.2 Visual dynamics analysis of Dobot's forearm

表 2 产品语义的量化描述
Tab.2 Quantitative description of product semantics

视觉动力数量	[0F, 10F]	[10F, 20F]	[20F, 30F]	[30F, 40F]	[40F, 50F]
对应产品语义	R1	R2	R3	R4	R5



图 3 现有的几款桌面机械臂
Fig.3 Several existing desktop robotic arm

表 3 用户因素提取
Tab.3 User factor extraction

桌面机械臂的产品语义词汇	乐趣 (33) 科研 (7) 坚硬 (33) 冰冷 (8) 智能 (15) 炫酷 (38) 柔和 (6) 便捷 (18) 多功能 (4) 实用 (12) 工业 (7) 精确 (8) 灵活 (17) 小巧 (5) 机械 (7) 编程 (1) 创新 (8) 安全 (4) 轻松 (2) 力量感 (4) 繁琐 (6) 限制 (1) 节奏 (1) 不安全 (1) 厚重 (3) 昂贵 (2) 廉价 (2) 可爱 (1) 男性化 (1) 教育 (7) 活泼 (6) 创新 (8) 先进 (3) 助手 (6) 稳重 (3) 简洁 (2) 传统 (1) 时尚 (2) 舒适 (1) 仿生 (2) 无用 (2) 多余 (1) 重复 (2) 设计 (2) 手臂 (1) 关节 (1) 未来感 (4) 流畅 (1) 结构感 (2) 联想 (1) 限制 (1) 节奏感 (1) 自动化 (3) 零件 (1) 现代化 (2) 尖锐 (1) 厉害 (3) 高端 (5) 理性 (1) 发烧友 (1) 新物种 (1) 经济 (1) 奇特 (1) 方法 (1) 人际对话 (1) 适应 (1) 巧妙 (1) 标准 (1) 耐用 (2)			
与用户因素相关的高频词汇	乐趣、炫酷、活泼、稳重	坚硬、冰冷、柔和	科研、工业、教育、便捷、高端	
用户因素	用户年龄	用户性别	产品使用场景	

注：括号内数字为相关产品语义的次数

3 桌面机械臂的产品语义通用性设计

3.1 桌面机械臂的产品语义通用性

桌面机械臂作为新产品,在未来用户类型不明确的情况下,需要具备较高包容度的产品语义。本文提出产品语义通用性这一概念,即桌面机械臂的产品语义在目标应用范围内的兼容能力。

根据影响桌面机械臂产品语义的用户因素分析结果,本文主要研究桌面机械臂在用户年龄、用户性别、产品使用场景三个方面的产品语义通用性,并将衡量其大小的指数分别命名为 UA (Universality of product semantics on age), UG (Universality of product semantics on gender), US (Universality of product semantics on scene)。将用户按照以上任意标准分为两个群体,设人数较少的群体数量为 M_1 、人数较多的群体数量为 M_2 ,某一方面的产品语义通用性指数为 UX (Universality of product semantics on X)。由于产品语义通用性可以用 M_1 与 M_2 的接近程度来衡量,因此 UX 可以用 M_1 与 M_2 的比值计算(当两个群体的数量相等时, $UX=1$)。为了更直观地分析数据,将 UX 的值限定为小于 1 的百分数,则相应的运算方法为:

$$UX = \frac{M_1}{M_2} \quad (1)$$

3.2 桌面机械臂的视觉动力与产品语义通用性的关系

将产品的视觉动力命名为 VD (Visual Dynamics)。依照上文的方法对 Dobot 魔术师进行整体的视觉动力分析,侧面造型中出现了二十七个视觉动力,则称 $VD(Dobot) = 27 F$ 。

依据同样的原理,为了测试用户对桌面机械臂的不同产品语义的反应,在统一风格的基础上设计了五套方案(P1, P2, P3, P4, P5),分别对应 R1, R2, R3, R4, R5。

本实验对 120 名调研对象,其构成特征为:60 名男性和 60 名女性;男性和女性的年龄处于 13~28 岁和 28 岁或以上的各占一半。首先让调研对象对提供的五个设计方案根据自身审美偏好来进行投票,然后设定产品使用场景为私人场所(如家、宿舍)和非

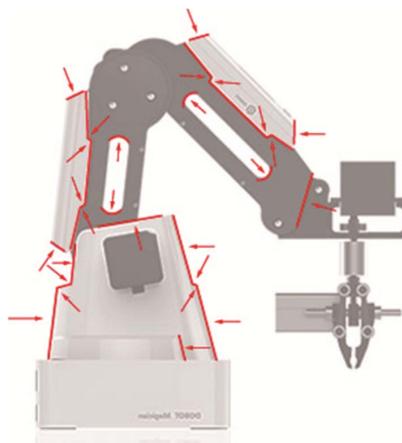
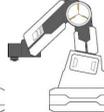


图 4 Dobot 魔术师的视觉动力分析
Fig.4 Visual dynamics analysis of Dobot

表 4 桌面机械臂设计方案
Tab.4 Design scheme of desktop robotic arm

设计 方案					
编号	P1	P2	P3	P4	P5

私人场所(如教室、实验室、展厅)提供给调研对象再次对五个设计方案进行投票,通过使用公式(1)对统计数据进行处理,结果见表 5,其中 P3 的 UA 最高、P5 的 UG 最高、P2 的 US 最高。

4 基于 AHP 分析桌面机械臂的产品语义通用性

4.1 建立层次结构模型

由上文的结论得知,桌面机械臂的产品语义通用性主要取决于用户年龄、用户性别、产品使用场景三个方面的表现。为了得到最理想的桌面机械臂的产品语义通用性,根据 Saaty 提出的层级构造方式^[11]将其设为目标层,并以桌面机械臂在用户年龄、用户性别、产品使用场景的产品语义通用性为准则层。由于本次分析是研究这三者的相对重要性,所以建立层次结构模型,见图 5。

表 5 桌面机械臂的产品语义通用性
Tab.5 Semantic universality of desktop robotic arm

编号	13~28 岁	28 岁或以上	UA/%	男	女	UG/%	私人场所	非私人场所	US/%
P1	6	11	54.5	5	13	38.5	48	72	66.7
P2	9	12	75.0	13	8	61.5	57	63	90.5
P3	10	11	90.9	11	9	81.8	70	50	71.4
P4	11	8	72.7	9	8	88.9	78	42	53.8
P5	24	18	75.0	22	22	100.0	86	34	39.5

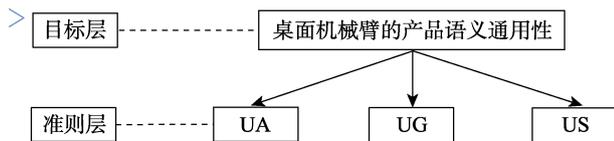


图 5 层次结构模型
Fig.5 Hierarchical structure model

表 6 1-9 标度法
Tab.6 1-9 scale method

1	2	3	4	5	6	7	8	9
同等重要	中间值	稍微重要	中间值	相当重要	中间值	明显重要	中间值	非常重要

表 7 两两要素重要性对比
Tab.7 Contrast of importance of two elements

总目标 A 值	j		
	分目标 1	分目标 2	分目标 3
分目标 1	$a_{11}=1$	$a_{12}=4.735$	$a_{13}=1.257$
i 分目标 2	$a_{21}=0.211$	$a_{22}=1$	$a_{23}=0.526$
分目标 3	$a_{31}=0.796$	$a_{32}=1.901$	$a_{33}=1$

4.2 准则层评估

设分目标 1 为在用户年龄方面的产品语义通用性，分目标 2 为在用户性别方面的产品语义通用性，分目标 3 为在产品使用场景方面的产品语义通用性。设定用户年龄范围为 13~28 岁和 28 岁或以上，性别分为男和女，产品使用场景为私人场所（例如家、宿舍）和非私人场所（如教室、实验室、展厅）。此次评价主要考察的是三个分目标之间的相对重要性。

根据评估人的知识经验，将处于同一个层级中的要素按重要性程度给予一定的分值，赋值方法是按照 1~9 标度法，见表 6：制定设计评价尺度，一般采用 9 级标度尺度表来标注准则之间重要程度的评判结果，分目标 i 与分目标 j 相比明显重要，则分目标 i 对分目标 j 的重要程度 $a_{ij}=7$ ，分目标 j 对分目标 i 的重要程度 $a_{ji}=1/7$ 。

4.3 数据分析

由于评价涉及的内容专业化程度较高，所以参与评价活动的人员包含科技公司的产品经理、机械设计师、软件工程师、工业设计师、设计学类专业研究生等共 20 人， $a_{12}=4.735$ ， $a_{13}=1.257$ ， $a_{23}=0.526$ 。两两要素重要性对比见表 7。

则目标 A 值的判断矩阵为：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 4.735 & 1.257 \\ 0.211 & 1 & 0.526 \\ 0.796 & 1.901 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

特征向量为：

$$W = (0.523 \quad 0.142 \quad 0.335)^T \quad (3)$$

4.4 一致性检验

查找平均随机一致性指标 $RI=0.58$ 。然后根据层次分析法原理，引入矩阵 A 不一致程度的指标 CI 和 CR ，且有：

$$CI = \frac{\lambda_{\max}(A) - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

要得到 CR 的值，因此要先计算 λ_{\max} 的值，其计算公式为：

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (6)$$

根据相应的运算法则得到：

$$AW = (1.616 \quad 0.428 \quad 1.021)^T \quad (7)$$

将 AW 及 W 代入式(6)得到 $\lambda_{\max}=3.051$ ，然后将其输入得到一致性指标 $CI=0.061$ ，此时 $CR=0.044 < 0.1$ ，因此该矩阵满足一致性的要求。

4.5 权重分析

设 UA，UG，US 的权重值分别为 $Im(UA)$ ， $Im(UG)$ ， $Im(US)$ ，由于数据通过了一致性检验，那么特征向量中包含的信息即是目标结果： $Im(UA)=0.523$ ， $Im(UG)=0.142$ ， $Im(US)=0.335$ 。

5 实例应用

5.1 视觉动力计算

设 $VD(Px)$ 为四轴桌面机械臂最理想的视觉动力数量变动范围，结合视觉动力与产品语义之间的关系的结果和 UA，UG，US 的权重值分析结果可以进行如下加权运算：

$$VD(Px) = VD(P3) \times Im(UA) \times VD(P5) \times Im(UG) \times VD(P2) \times Im(US) \quad (8)$$

代入相应的数值可以得到：

$$VD(Px)_{\min} = 20 F \times 0.523 + 40 F \times 0.142 + 10 F \times 0.335 \approx 20 F \quad (9)$$

$$VD(Px)_{\max} = 30 F \times 0.523 + 50 F \times 0.142 + 20 F \times 0.335 \approx 30 F \quad (10)$$

$$VD(Px) \in [20 F, 30 F] \quad (11)$$

结果表明当四轴桌面机械臂的侧面造型中的视觉动力在 $[20 F, 30 F]$ 的范围内时，其产品语义通用性最为理想。

5.2 桌面机械臂外观造型方案设计

在确定桌面机械臂大体功能和结构的基础上寻找规划视觉动力的机会，然后将合适的视觉动力放置到侧面造型中进行推敲，同时将视觉动力数量控制在 $[20 F, 30 F]$ 的范围以内，见图 6。

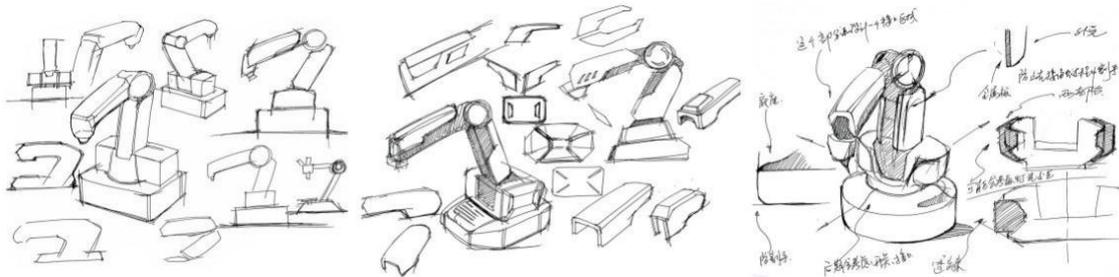


图6 桌面机械臂设计草图

Fig.6 Design sketch of desktop robotic arm



图7 设计方案效果

Fig.7 Rendering pictures of design scheme

按照上面的方法生成多套设计方案,然后引入其他考虑因素经过数轮挑选和迭代得出最优方案。最优方案中的视觉动力需要被放到三维空间中进行思考和审视,最后得到设计方案见图7,其侧面造型中视觉动力为27F。为了评价设计方案是否符合要求,将该方案的效果图提供给之前参与视觉动力实验的一百二十名调研对象进行回访,结果显示设计方案在各种类型的用户中均收获良好表现,因此符合桌面机械臂的产品语义通用性要求。

6 结语

桌面机械臂是人工智能技术进入人类生活的过渡产品,它能否取得成功将很大程度上影响机器人技术的走向及发展进程。桌面机械臂的产品语义在应用范围内的兼容能力是增加用户类型的关键一环,引入产品语义通用性的概念可以帮助设计师对此进行判断。将层次分析法与视觉动力学理论结合之后,成功将得到理想的产品语义这一目标,转化成为可量化的问题并解决。本文所使用设计流程和方法同样适用于其他原理机构的桌面机械臂,行业内的相关企业可以将此作为设计此类产品时的理论指导。

参考文献:

[1] 章浩,张龙,朱震.自动称重桌面机械臂的设计与应用[J].中国科技论文,2018,13(8):859-864.
ZHANG Hao, ZHANG Long, ZHU Zhen. Design and Application of Automatic Weighing Desktop Manipulator[J]. China Science Paper, 2018, 13(8): 859-864.
[2] 张伟业.一种新型的桌面级机械臂[J].中国科技信息,

2018(16): 53-55.

ZHANG Wei-ye. New Desktop Manipulator[J]. China Science and Technology Information, 2018(16): 53-55.

[3] 杨亮,郭志军.基于视觉伺服的桌面型机械臂创新实验平台研制[J].实验技术与管理,2018,35(5):92-94.

YANG Liang, GUO Zhi-jun. Development of Innovative Experimental Platform with Desktop Manipulator based on Visual Servo[J]. Experimental Technology and Management, 2018, 35(5): 92-94.

[4] 于霁月.基于产品语义学的服务机器人造型设计研究与应用[D].沈阳:沈阳工业大学,2017.

YU Ji-yue. Research and Application of a New Desktop Robot Modeling Design Based on Product Semantics[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2017.

[5] 邱珂.产品设计中的语义思维研究[J].包装工程,2012,33(10):50-53.

QIU Ke. Semantic Thinking Research in Product Design[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(10): 50-53.

[6] 李然,赵江洪.基于类型分析的语义驱动汽车造型生成设计[J].包装工程,2015,36(6):71-76.

LI Ran, ZHAO Jiang-hong. Semantic-driven Car Generating Design Based on Type Analysis[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(6): 71-76.

[7] ARNHEIM R. Visual Dynamics[J]. American Scientist, 1988, 76(6): 585-591.

[8] 李想.工业产品设计中的视觉动力[M].北京:人民邮电出版社,2018.

LI Xiang. Visual Dynamics of Industrial Product Design[M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2018.

[9] 百度移动用户体验部.方寸有度:百度移动用户体验设计之道[M].北京:电子工业出版社,2017.

Baidu Mobile User Experience Department. Baidu Mobile User Experience Design[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2017.

[10] 李然,支锦亦.产品语义提取方法及流程研究[J].包装工程,2018,39(22):132-137.

LI Ran, ZHI Jin-yi. Product Semantic Extraction Method and Procedure[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(22): 132-137.

[11] SAATY T L, VARGAS L G. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process[M]. New York: Springer US, 2012.