

基于眼动追踪技术的产品形态仿生设计研究

欧细凡^{1,2}, 周志勇¹, 刘博敏¹, 张新月¹

(1.上海电机学院, 上海 200240; 2.同济大学 设计创意学院 上海 200092)

摘要:目的 为有效解决仿生对象造型特征存在的问题。方法 基于仿生设计学和认知心理学等相关理论, 运用眼动追踪实验进行产品形态仿生设计, 提出一种通过测量眼动数据来确定仿生形态特征的方法。以小型道路清扫车的造型设计为例, 选用上海市市花白玉兰为形态仿生对象, 运用眼动跟踪实验得出眼动生理数据, 对数据进行数理统计后, 分析用户对生物外形本征的关注点和兴趣点, 提取关键外形的设计因素, 以此研究生物外型的典型特性。结论 为产品形态的仿生设计提供一定的参考和借鉴。

关键词: 工业设计; 眼动追踪实验; 形态仿生; 产品创新

中图分类号: TB472 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2018)22-0144-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.22.024

Product Form Bionic Design Based on Eye-tracking Technology

OU Xi-fan^{1,2}, ZHOU Zhi-yong¹, LIU Bo-min¹, ZHANG Xin-yue¹

(1.Shanghai Dian Ji University, Shanghai 200240, China;

2. College of Design and Innovation, Tongji University, Shanghai 200092, China)

ABSTRACT: In order to solve the problem effectively that the determination of the modeling features of bionic objects depends mainly on subjective experience but lack of quantitative analysis. Based on the related theories of bionic design science and cognitive psychology, the eye tracking experiment is used to design the form bionics. A method of determining the characteristics of bionic morphologies by measuring the objective physiological eye movement data was proposed. Taking conceptual design of small road sweeper as an example, Shanghai Magnolia grandiflorum was selected as the morphological object. The eye movement and physiological data were obtained by eye tracking experiment, then the users' cognitive concerns and interests were obtained. After the data were statistically analyzed, the users' cognitive concerns and points of interest were analyzed and the key design factors were extracted to study the typical cognitive characteristics of biological appearance. It provided certain references for bionic design of product form.

KEY WORDS: industrial design; eye tracking experiment; form bionic; product innovation

随着科技水平的不断发展, 同级别各类产品的差异并不显著, 产品的美学特征也日益成为人们对产品的新需求。人们的主观审美意识充满了模糊性和不确定性, 设计师很难确切地把握用户的意象认知, 如何使设计方案和用户的主观需求相一致, 是设计界亟待解决的问题。形态仿生设计能唤起用户对仿生对象的理解, 拉近用户与产品的联系, 有助于设计师和用户

之间形成统一的认知共识。目前, 形态仿生是设计领域的热点。杜鹤民等结合产品语义, 进行产品实例的形态仿生^[1]; 徐红磊等通过分析自我意识, 对产品仿生设计的内涵进行解读, 探讨具象形态仿生和抽象形态仿生对产品造型的影响^[2]。此类设计方法主要凭借设计师个人的理解和判断, 对产品形态进行仿生, 具有很强的主观性。

收稿日期: 2018-08-31

基金项目: 上海市教育发展基金会晨光计划项目(15CG72); 上海市高校青年教师培养资助计划项目(A1-5701-17-022-13); 上海市2015年度“科技创新行动计划”生物医药领域产学研医合作项目(15DZ1942702, 15DZ1940103); 闵行区产学研合作计划项目(2015MH119, 2015MH129)

作者简介: 欧细凡(1985—), 女, 湖南人, 同济大学博士生, 主要研究方向为工业设计、设计认知与计算。

在人机交互领域,基于视觉的信息交互技术目前尚不成熟,但由于其具有直接性、双向性的特性,所以受到了广大学者的重视^[3]。文中将形态仿生设计与视觉交互技术相结合,运用眼动追踪实验进行生物外形本征的测量,通过分析客观数据,提取形态的关键特征,并将结果用于设计实践。

1 形态仿生设计

形态仿生设计研究自然界物质存在的外部形态及其象征寓意,通过艺术处理的手法提取自然物的外形特征,并将其应用到设计中。形态仿生设计有具象仿生形态设计和抽象仿生形态设计之分,前者是对生物形态的直接再现,后者反映生物体的本质特征,通过抽象演变,总结出生物的外形本征,再运用到产品设计中。抽象仿生形态是对生物体外形视知觉的抽象,具有主题特征明显、内容突出的特点,其蕴含了设计师的认知意识,属于认知过程的高级阶段。

根据 Rudolf Arnheim 的视知觉理论,两个事物之间的相似性并不取决于这两个事物细小部分的等同,而是由一致性所决定^[4]。生物体外形与形态造型之间的对比是两者本质特征的对比,同一形态的生物本征也能用不同的形式进行呈现。

产品形态仿生设计不是对自然界生物体的简单模仿^[5],而是一种凝结了设计师构思、创意和情感等因素的再创造活动。设计人员通过对自然界形态的分析、抽象、综合、比较、重组等方法,提取其主要的结构特征,并最终运用到具体的产品设计中。

2 眼动追踪技术

视觉是人类从外界获取信息的主要来源,人类有 80% 的信息来源于视觉^[6]。通过测量眼动数据来观测用户认知的关注点和兴趣点,是研究人体视觉认知的重要途径。

眼动追踪技术是一种通过客观记录和分析被测者眼球运动来探寻人体心理活动的有效手段之一^[7]。其利用眼动追踪系统监测每只眼睛的活动情况,获得被测者在观看视觉信息中的客观生理数据,例如眼球的视觉运动轨迹、注视频率、注视时间、注试点等,通过统计分析量化的数据来研究人对样本的视觉认

知规律^[8]。文中将形态仿生设计与视觉交互技术相结合,通过测量分析被测者在观察生物形态时的眼动数据,提取形态的关键特征,获取被测者的认知结果。

3 形态仿生特征眼动追踪测试实验

3.1 实验仪器

笔者采用瑞典 Tobii 公司的 Tobii X2 便携式眼动仪进行眼动数据采集,见图 1。



图 1 Tobii X2 便携式眼动仪
Fig.1 Tobii X2 portable eye tracker

3.2 被测对象

被试对象共 10 人,包括 6 名产品设计专业的本科在校生,4 名艺术设计系的专任教师。其中男生 5 人,女生 5 人,平均年龄 22.84 岁。实验对象均无色盲和色弱,裸眼视力或矫正视力均达 1.0 以上。被试者均有过仿生设计的经历,但从没见过本次实验中的产品和形态样本图片。

3.3 形态造型样本

运用专家分析法,选出最能代表上海市形象的市花——白玉兰作为产品形态仿生的原型。大量搜集白玉兰图片共 30 张,根据图片清晰度和白玉兰不同阶段花期等筛选图片。为了得到更精确有效的数据,分别选取始花期两张(标记为始花期 a,始花期 b)、盛花期两张(标记为盛花期 c,盛花期 d)、终花期两张(标记为终花期 e,终花期 f),一共 6 张白玉兰不同花期形态的图片。通过不同方式的排列组合将筛选后的图片组合成样本图片。白玉兰生物造型见图 2。

实验开始前,在每个造型样本图片设立 AOI(Area of Interest, AOI)^[9],为便于后期数据的分析处理,设定各 AOI 名称与样本名一致,将始花期 a 的 AOI 区域设定为 a1,依次类推,从而划分 AOI 区域,见图 3。

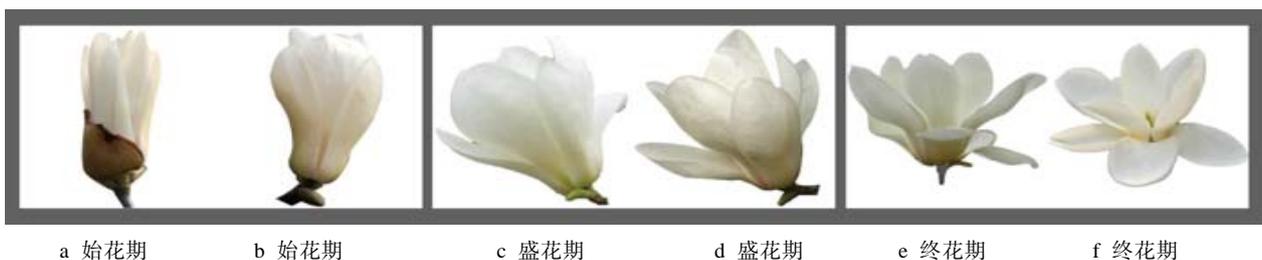


图 2 白玉兰生物造型
Fig.2 Biological model of magnolia

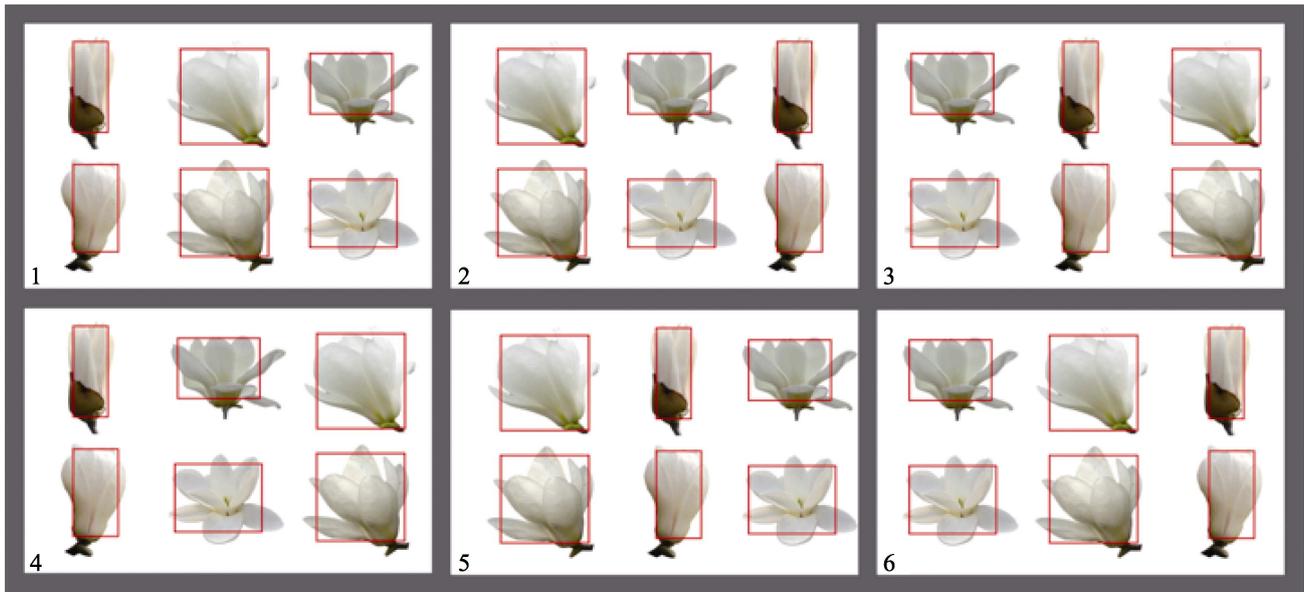


图3 样本图片及 AOI 区域
Fig.3 Sample images and AOI area maps

3.4 实验目的

实验目的是分析实验人员眼中最能代表白玉兰意象的典型特征。通过此次实验,测量被测者的客观眼动生理数据,定量分析以判定被测者对样本图片的典型生物造型的意象感知,对样本图片的不同部分进行排序,明确该生物造型视觉评价的有效指标。实验采用 19 寸的 Dell 显示屏,分辨率为 1440*900,实验中样本图片的大小和分辨率均采用统一的数值,以避免界面问题带来的干扰。

3.5 实验过程

整个实验过程需要大约 15 分钟,包括实验前期准备实验讲解、设备调试、视线校对 4 min,实验后被试者问卷填写和访谈 2 分钟,眼动追踪实验 9 分钟左右。实验步骤如下:(1)为减少实验误差,增加测试的精准性,实验前由实验人员向被试者说明实验中的注意事项、实验要求和实验目的;(2)调整被试座位,使其距离显示器的直线距离范围在 0.35~0.6 m,调整位置,直至眼动仪上眼球图标呈绿色,表明位置合适;(3)调试程序,校准焦点;(4)被试者根据对生物形态的意向认知观察样本图片,寻找样本中最符合被试者意向认知的图片。

测试中采用拉丁方设计方法设置样本图片的出现次数和顺序^[10],以消除样本图片顺序对试验结果的影响。样本图片随机出现,次数均为 4 次。实验设定每张样本图片的出现时间为 6 s,时间太长易造成被试的视觉疲劳,时间太短则难以判定形态的典型特征。为消除图片之间的相互干扰,在图片切换中设定有短暂的灰屏过渡。

要求被试者浏览 6 张白玉兰的样本图片,观试不同时期白玉兰的形态,联想白玉兰最典型的形态意

象,结合自身经验凝视其最能体现白玉兰意象认知及形态特征的部位。

3.6 实验分析

先将 6 张样本图片的热点图导出,见图 4,注意力热点图的颜色从绿、黄、红逐步过渡^[11],表明样本图片受注视的次数由少到多逐渐改变。红色越多,说明样本图片的受关注度越高,认同感越高,吸引力越强。从样本的热点图可初步分析受关注度高的是盛花期,其次是终花期,最后是始花期。

热点图能形象地分析注视点的集中趋势^[12],但仅以热点图难以判定。为此,需要导出兴趣区域 AOI 的实验参数。AOI 注视点数量越多,说明该区域在同一样本中受关注度更高,在样本中越重要;在 AOI 区域注视时间的长短也是反映该区域引起被试关注的重要指标,即视线停留时间越长,表明该区域越重要,该样本图片对应的形态部分越能代表其特征;AOI 首次注视时间越短,说明该 AOI 区域对应的形态特征要素越符合被试者所想要寻找的目标,越能体现被测对形态的意向认知;视线在不同 AOI 区域转换频率越高,说明该区域的受关注度越高,白玉兰形态特征眼动追踪实验参数见表 1。

在 6 张样本图的 AOI 中,c 的首次注视时间最短,注视时长最长,注视点个数最多,转换频次最高。为了更直观地反映数据的综合分布情况,将雷达图进行对比,分析 AOI 各数据的变化情况,可较准确地分析 AOI 的优劣情况。眼动实验雷达见图 5, a-f 分别于原点相连,连线对应成 6 条坐标轴,坐标轴以时间/s 或注视次数的数值标记,红色折线对应首次注视时间,蓝线对应注视时长,绿线对应注视个数,黄线对应转换频次。

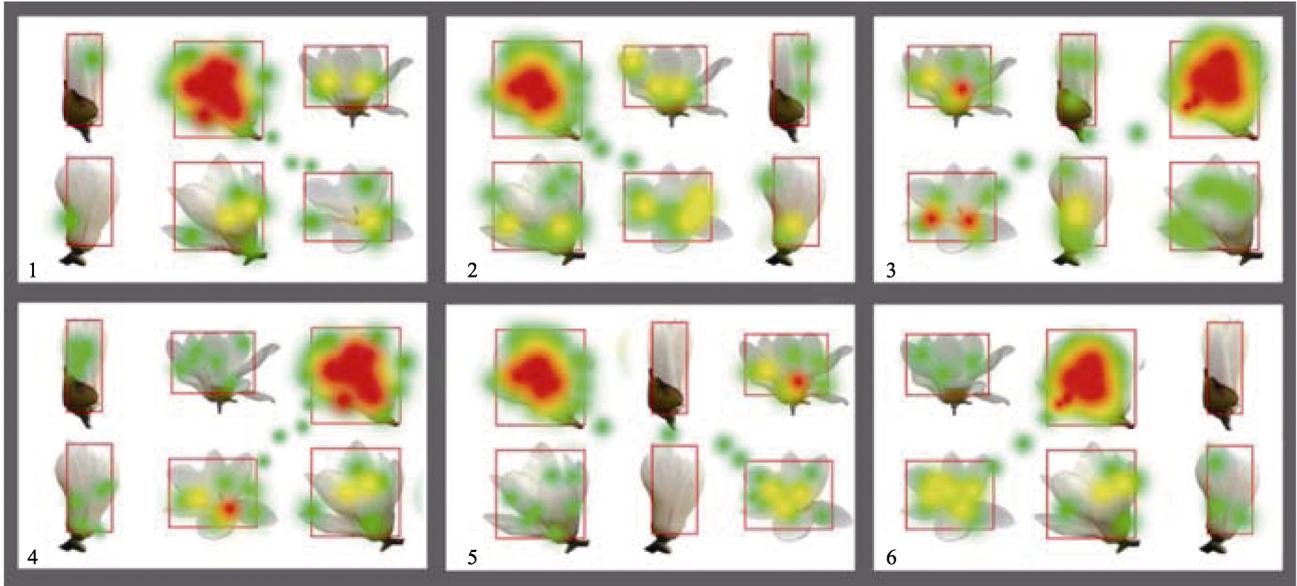


图 4 实验样本热点
Fig.4 Attention heatmap of experimental sample

表 1 白玉兰形态特征眼动追踪实验参数
Tab.1 Eye tracking experiment parameters of magnolia characteristics

样本	AOI	首次注视时间/s	注视时长/s	注视点个数	转换频次	排序	样本	AOI	首次注视时间/s	注视时长/s	注视点个数	转换频次	排序
图 1	a1	2.16	0.21	0.66	1.51	6	图 4	a4	2.37	0.22	0.53	1.81	6
	b1	1.86	0.29	0.74	2.36	5		b4	1.84	0.16	0.62	2.26	5
	c1	0.36	2.23	5.41	10.26	1		c4	0.32	2.53	5.71	10.36	1
	d1	0.54	1.84	4.06	9.98	2		d4	0.44	1.14	3.06	9.48	2
	e1	0.86	0.45	0.86	4.64	4		e4	0.98	0.65	0.86	4.26	4
	f1	0.78	0.98	1.88	8.96	3		f4	0.51	1.07	2.38	8.76	3
图 2	a2	2.18	0.22	0.56	1.61	6	图 5	a5	2.27	0.22	0.53	1.61	6
	b2	1.74	0.30	0.64	2.36	5		b5	1.74	0.18	0.66	2.06	5
	c2	0.26	2.33	5.51	10.36	1		c5	0.42	2.53	5.74	10.16	1
	d2	0.54	1.74	4.16	9.68	2		d5	0.48	1.24	3.06	9.28	2
	e2	0.88	0.55	0.76	4.66	4		e5	0.88	0.65	0.86	4.06	4
	f2	0.71	0.97	1.78	8.86	3		f5	0.51	1.17	2.32	8.55	3
图 3	a3	2.17	0.32	0.53	1.71	6	图 6	a6	2.17	0.23	0.63	1.41	6
	b3	1.64	0.36	0.63	2.36	5		b6	1.64	0.19	0.76	2.06	5
	c3	0.36	2.63	5.61	10.46	1		c6	0.32	2.23	5.84	10.36	1
	d3	0.54	1.34	4.06	9.78	2		d6	0.38	1.24	3.16	9.08	2
	e3	0.88	0.55	0.86	4.46	4		e6	0.78	0.55	0.96	4.16	4
	f3	0.61	1.27	2.18	8.96	3		f6	0.41	1.07	2.43	8.55	3

以雷达图进行分析,在同一折线上,离端点越近,表明首次注视的时间越短。观测折线可知,首次注意时间依次是 cdfeba; 在同一折线上,离端点越远,表明注视时间越长,注视个数越多,转换频次越长。观察折线可知,注视时长依次是 cdfeba, 注视个数排序依次是 cdfeba, 转换频次排序依次是 cdfeba。根据首次注视时间、注视时长、注视个数及转换频次进行综

合分析, AOI 中 c 最满足被测心中的意向认知, 最符合白玉兰的典型形态特征。

为验证测量数据的可靠性,可进一步分析导出的柱状图,见图 6。1 个 AOI 对应一个柱状图, 每个花期对应 2 个柱状图。蓝色柱状图会根据时间的变化不停变化,表示视线随着时间变化。从横轴上观测,柱状图越大,表明被测者视线停留时间越长,柱状图最

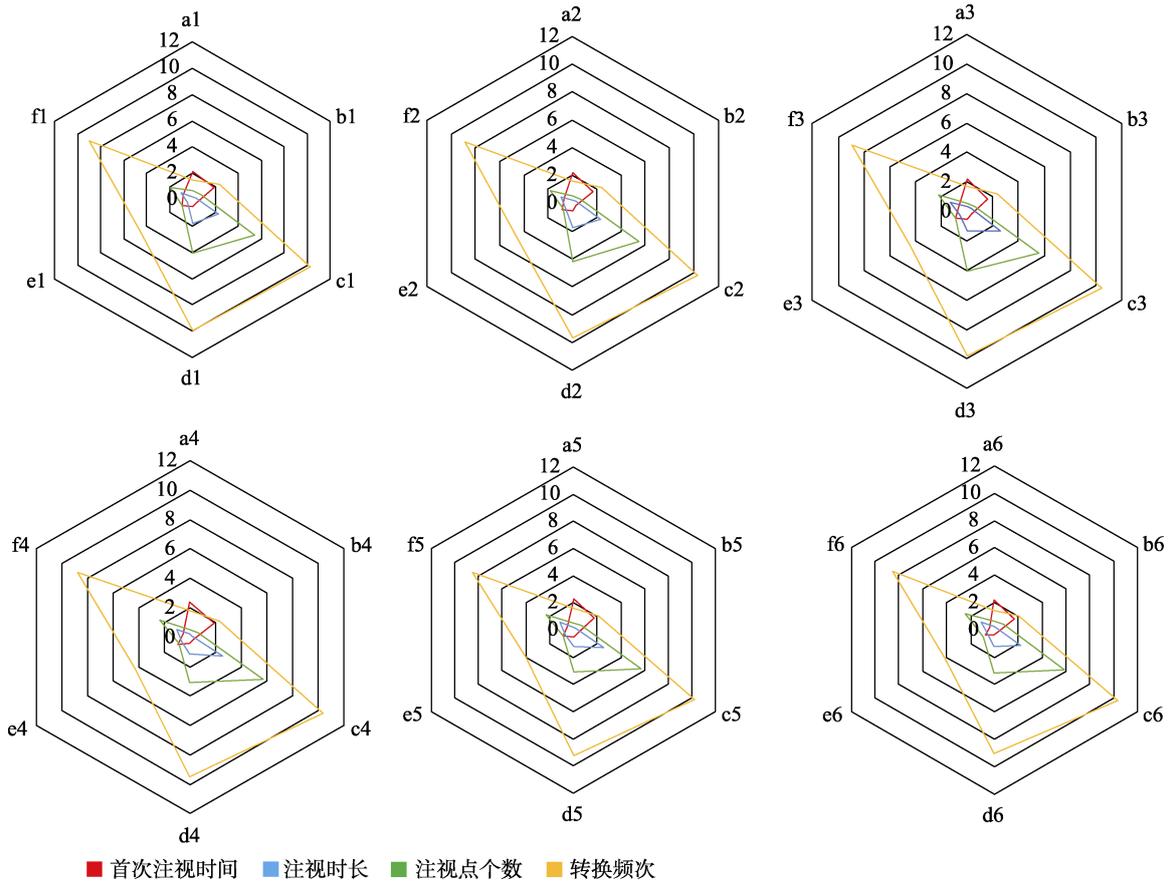


图5 眼动实验雷达

Fig.5 The eye movement tracking radar map

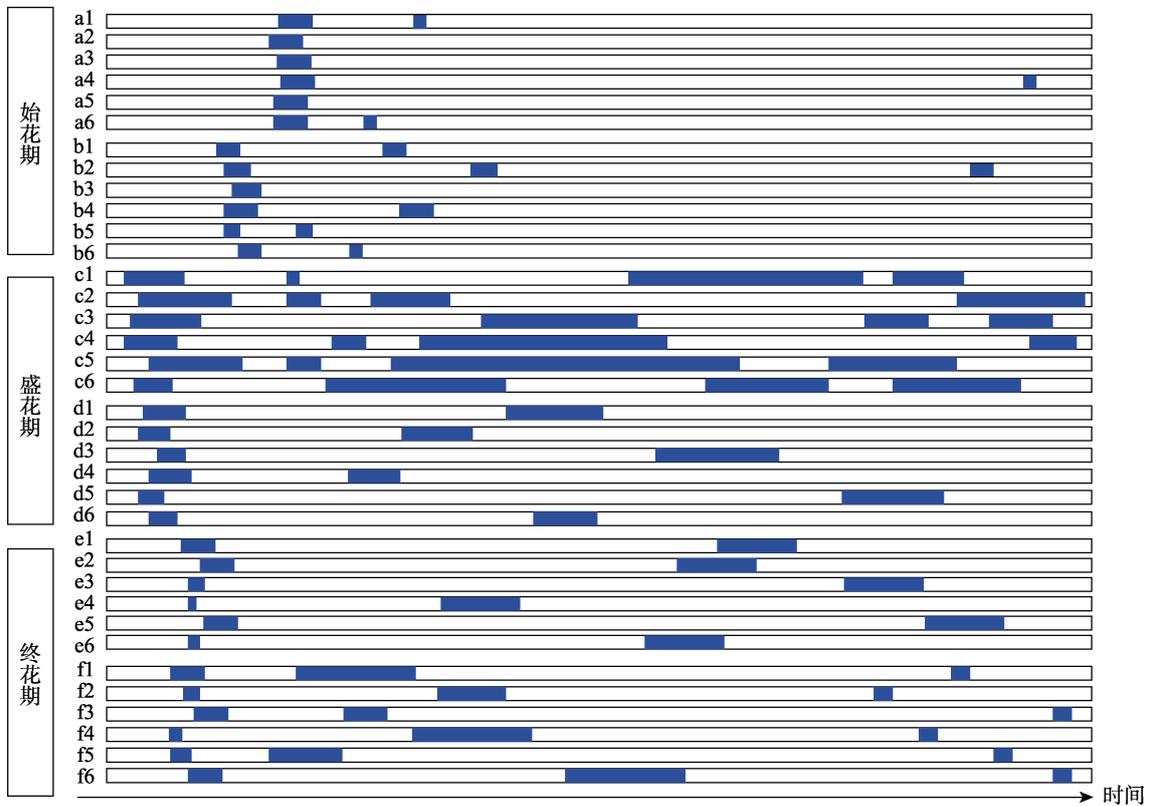


图6 数据柱状图

Fig.6 Data histogram

先出现,表明被测者观察到 AOI 所用的首次时间越短。从柱状图中可以观测出,首次注视时间的排序依次是 cdfeba,与表 1 的实验数据一致;柱状图面积大小排序依次是 cdfeba,验证了注视时长数据的可靠性,从柱状图出现的频次可直观分析出被试者注视转换的频次和数目,其结果均与表 1 相一致。由此验证以上数据的可靠性。

4 设计实例

由眼动实验结果可知,白玉兰盛花期 c 最符合人们对白玉兰的意象认知。依据眼动实验的结果,展开小型道路清扫车的形态仿生设计。



图 7 小型道路清扫车模型
Fig.7 Mini road sweeper model

5 结论

设计师依赖个人的经验和理解,对产品进行形态仿生,具有很强的主观性,难以匹配用户的意向认知。本研究运用眼动追踪实验测量生物外形本征,以上海市市花白玉兰的形态作为仿生设计对象,通过对首次注视时间、注视时长、注视频率和浏览频率等客观数据进行定量分析,提取白玉兰形态的关键特征,并将结果用于小型道路清扫车的造型创意设计,为产品的外观设计提供了可量化的方法,具有较好的适用性,可延展到其他仿生设计领域。

参考文献:

- [1] 杜鹤民. 基于产品语义的形态仿生设计方法研究[J]. 包装工程, 2015, 36(10): 60—63.
DU He-min. The Form Bionic Design Based on the Product Semantics[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2015, 36(10): 60—63.
- [2] 徐红磊, 于帆. 基于生命内涵的产品形态仿生设计探究[J]. 包装工程, 2014, 35 (18): 34—38.
XU Hong-lei, YU Fan. Exploration of the Product Form Bionic Design Based on the Life Connotation[J]. Packaging Engineering, 2014, 35 (18): 34—38.
- [3] LAI Meng-Lung, TSAI Meng-Jung, YANG Fang-Ying, et al. A Review of Using Eye-Tracking Technology in

4.1 主体特征设计

根据盛花期部位 c 展开草图构思,识别并提取出盛花期 c 的主体特征线,运用设计美学中形式美法则将提取出的主体特征线进行抽象变形处理^[13]。将处理后的主体特征线运用到最能体现小型清扫车形态特征的正侧面,得到设计草图。

4.2 色彩设计

小型道路清扫车配色方案以黑白为主,表现产品的层次感。在此基础上进行三维造型设计,得到小型道路清扫车的最终效果形态,小型道路清扫车模型见图 7。

Exploring Learning from 2000 to 2012[J]. Educational Research Review, 2013, 10(11): 90—115.

- [4] RUDOLF A. Art and Visual Perception:a Psychology of the Creative Eye[M]. California: University of California Press, 1954.
- [5] 戚彬, 余隋怀, 王淼, 等. 基于眼动跟踪实验的产品形态仿生设计研究[J]. 机械设计, 2014, 31(6): 125—128.
QI Bin, YU Sui-huai, WANG Miao, et al. Study on Product form Bionic Design Based on Eye Tracking Experiment[J]. Journal of Machine Design, 2014, 31(6): 125—128.
- [6] ASHOK K G, SWAROOP V, BRYAN W, et al. Cognitive, Collaborative, Conceptual and Creative—four Characteristics of the Next Generation of Knowledge-based CAD Systems: a Study in Biologically Inspired Design[J]. Computer Aided Design, 2012(44): 879—900.
- [7] TSAI W C, RO L W, LEE C F. Study on the Usability of Various Button Sizes and Visual Feedbacks in Small Touch-Screens[J]. Journal of Ergonomic Study, 2014, 12(1): 56—67.
- [8] 刘青, 薛澄岐, FALK H. 基于眼动跟踪技术的界面可用性评估[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2010, 40(2): 331—334.
LIU Qing, XUE Cheng-qi, FALK H. Interface Usability Evaluation Based on Eye-tracking Technology[J]. Journal of Southeast University(Natural Science Edition),

- 2010, 40(2): 331—334.
- [9] 史庆春, 孙金红, 王健. 基于眼动追踪技术的抛光机造型设计与色彩优选[J]. 机械设计, 2016, 33(8): 105—108.
SHI Qing-chun, SUN Jin-hong, WANG Jian. Modeling Design and Color Selection of Polishing Machine Based on Eye Tracking Technology[J]. Journal of Machine Design, 2016, 33(8): 105—108.
- [10] 胡良平. 现代统计学与 SAS 应用[M]. 北京: 军事医学科学出版社, 2000.
HU Liang-ping. Modern Statistics and SAS Applications [M]. Beijing: Military Medical Science Press, 2000.
- [11] JACOB R J K, KARN K S. Eye Tracking in Human Computer Interaction and Usability Research: Ready to Deliver the Promises[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2013, 11(24): 682—701.
- [12] 张丽川, 李宏汀, 葛列众. Tobii 眼动仪在人机交互中的应用[J]. 人类工效学, 2009, 15(2): 67—69.
ZHANG Li-chuan, LI Hong-ting, GE Lie-zhong. Application of Tobii Eye Tracker in Human Computer Interaction[J]. Ergonomics, 2009, 15(2): 67—69.
- [13] 周志勇, 刘利, 聂品, 等. 多功能移动床椅感性设计研究与实践[J]. 机械设计与制造, 2015(1): 121—123.
ZHOU Zhi-yong, LIU Li, NIE Ping, et al. Research and Practice for Bed Chair Emotional Design[J]. Machinery Design & Manufacture, 2015(1): 121—123.