

产品造型设计决策过程中的眼动机制研究

卢国英¹, 侯冠华²

(1.上海电机学院, 上海 200240; 2.浙江工商职业技术学院, 宁波 315012)

摘要: **目的** 不同专业背景用户在设计决策中往往会出现冲突和差异, 为进一步理清该差异产生的生理机制, 对产品造型设计决策过程中的眼动轨迹进行研究。**方法** 采用眼动追踪方法, 选取重要眼动指标, 以学生专业背景和设计作品完成程度为自变量, 通过卡方分析和重复测量方差, 对设计决策过程中的眼动机制进行研究。专业差异会对产品决策过程的眼动轨迹产生显著影响, 作品完成程度同样对眼动相关指标有显著影响, 且与专业背景具有交互作用。**结论** 不同专业背景的用户在产品决策时的关注点不同, 是造成决策冲突的重要原因, 从眼动追踪的角度对这一现象提供了新的解释依据。

关键词: 工业设计; 用户需求; 定量分析; 功能分析; 特定人群

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)14-0215-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.14.039

Eye Tracking of Product Design Decision Making Strategy

LU Guo-ying¹, HOU Guan-hua²

(1.Shanghai Dianji University, Shanghai 200240, China;

2.Zhejiang Business and Technology College, Ningbo 315012, China)

ABSTRACT: Conflicts and differences often occur in the design decision of different professional background users. In order to further clarify the physiological mechanism of the difference, the eye movement track in the process of product design decision is studied. The eye movement tracking method is used to select the important eye movement index. The students' professional background and the completion of the design work are the independent variables. Through the chi-square analysis and the repeated measurement of variance, the eye movement mechanism in the design decision process is studied. Professional differences have a significant impact on the eye movement of the product decision process. The degree of completion of the work also has a significant impact on the eye movement related indicators and has an interaction with the professional background. Users of different professional backgrounds have different points of concern in product decision making, which are important reasons for decision-making conflict. From the perspective of eye tracking, a new explanation for this phenomenon is provided.

KEY WORDS: industrial design; user demands; quantitative analysis; functional analysis; specific population

产品设计决策是不同利益共同体多方博弈的过程^[1]。在产品造型决策中, 以设计师为主体的决策者与制造业为主体的决策者, 通常会产生巨大分歧。设计师往往更注重产品的美学特征, 制造者则更关注产品制造的可实现性。关于产品设计决策的研究有很多, 如产品造型基因优选策略^[2]的提出, 为产品设计决策提供了产品形象的视角, 此外感性工学^[3]、

KANO 模型^[4]、敏感度分析和知识推理^[5]等产品设计决策方法都为产品造型设计决策提供了依据。研究者关于不同专业背景的决策者对产品决策产生分歧的机理研究非常少, 因此, 从生理指标的角度探讨不同专业背景决策者设计决策过程的生理指标差异非常重要, 对设计师理解该差异产生的原因具有积极意义。

收稿日期: 2018-05-07

基金项目: 浙江省文化厅文化科研项目 (zw2016017)

作者简介: 卢国英 (1978—), 女, 浙江人, 博士, 上海电机学院讲师, 主要从事人因工程、用户体验设计研究。

1 眼动研究在设计中的应用

近年来，越来越多的眼动研究应用在设计领域中，如交互界面的设计评价^[6]、可用性评价^[7]等。眼动数据包含多个眼动指标，且每个指标都具有特定的意义和应用范围，选择合适眼动指标是本研究的重点内容之一。

1.1 眼动轨迹

与质性研究不同，以眼动为代表的生理数据更加客观，能够真实反应人的行为意图^[8]。眼动轨迹能够非常清晰地记录参与者的眼动行为，该指标是研究人们客观思考过程的重要指标，眼动轨迹反应了参与者观看产品设计时的视觉策略，也是对主观思考过程的客观呈现。

1.2 兴趣区划分

兴趣区的划分是为了更清晰地了解参与者的关注区域，在兴趣区内的停留时间和关注不同兴趣区的次序是考察参与者如何分配注意力的重要指标^[9]。划分兴趣区是眼动研究的常用手段和方法。

1.3 注视点数和注视时间

在某个区域内的注视点数和注视时间越久，代表这个区域包含的信息量越大或越难，参与者理解该区

域内容所需花费的时间越长^[10]。不仅如此，注视点数和注视时间也代表观看者对该作品的兴趣和重视程度，注视点数越多，注视时间越长，说明观看者对该事物更感兴趣。研究表明，美的事物和鲜艳的色彩更容易吸引注意力。

本研究中，产品造型设计决策的眼动机制是指在参与者观看设计作品时，通过控制设计作品等级、参与者的专业背景 2 个变量，来探索参与者的眼动参数变化规律。这些眼动参数包括眼动轨迹、注视点数、注视时间，共同构成了参与者的产品造型设计决策眼动机制^[11]。

2 实验

2.1 参与者与程序

研究分别挑选了工业设计专业学生与机械设计专业学生各 20 人，每人观看产品设计图片 1 次，观看时间 5 s，共观看 12 张图。参与者在灰屏期间迅速做出喜欢或不喜欢的选择，喜欢按 Y 键，不喜欢按 N 键，实验流程见图 1。

2.2 实验材料

实验材料采用汽车设计课程作业，将产品预先划分为 6 个兴趣区，包括兴趣区 1 车身、兴趣区 2 铲斗、

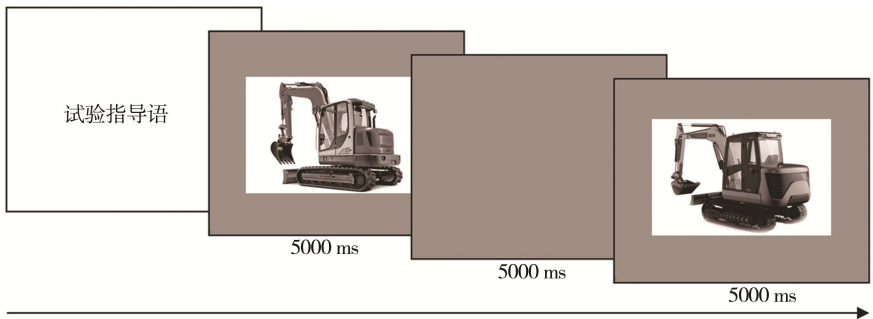


图 1 实验流程
Fig.1 Experimental procedure

兴趣区 3 履带、兴趣区 4 驾驶舱、兴趣区 5 摇杆、兴趣区 6 动臂等，见图 2。选择 3 款工程车设计作品，分别将其设计过程分解成高完成度、中等完成度和低完成度作品，共 12 款方案，同一呈现视角。其中，高完成度作品指细节完善，照片级效果图；低完成度作品指计算机草图，仅仅勾勒出轮廓，使用大色块上色；中等完成度作品介于高完成度与第完成度之间，有些细节，但还不完善，见图 3。

由于色彩对眼动行为影响极大，因此实验材料全部采用去色处理。

2.3 实验设备

采用 Tobii 桌面式眼动仪记录，采样率为 120 Hz，所有方案随机呈现。

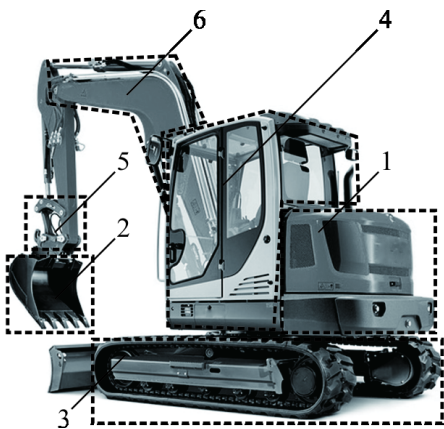


图 2 实验材料示例
Fig.2 Example of experimental materials

3 实验结果

3.1 首次注视区域的差别

每个参与者在观看产品效果图的首次注视时间都有差别，为了统计出两者间的差异，采用卡方检验

方法对眼动数据进行统计，见表 1。结果显示，不论是工业设计还是机械设计的参与者，都倾向于首先关注驾驶室。这说明驾驶室设计非常重要，因为该区域最容易被观察和注意到。

表 1 参与者首次注视区域的眼动数据
Tab.1 First fixation in each AoI

								单位：个	
专业	美学	车身	铲斗	履带	驾驶室	摇杆	动臂	χ^2	p
工设	美	12(13)	2(13)	2(13)	49(13)	3(13)	10(13)	126.7	<0.001
	一般	4(13)	7(13)	8(13)	24(13)	3(13)	32(13)	57.5	<0.001
	丑	4(13)	15(13)	7(13)	26(13)	8(13)	19(13)	27.0	0.05
机械	美	5(13)	3(13)	4(13)	56(13)	7(13)	5(13)	170.3	<0.001
	一般	4(13)	10(13)	0(13)	41(13)	5(13)	20(13)	83.6	<0.001
	丑	8(13)	1(13)	3(13)	63(13)	0(13)	5(13)	230.9	<0.001
合计		37(80)	38(80)	24(80)	259(80)	26(80)	91(80)	604.7	<0.001

注：括号中的数据表示预期值。

3.2 观看策略的差别

通过对各兴趣区的进入顺序进行排序，可以非常清楚了解参与者的观看策略。由于部分区域观察者的注视时间太短，小于 40 ms 的数据被系统自动移除。因此，最终只有 5 个区域的数据有效，并可以被清晰地观察到。所有条件下的产品设计效果图观看次序见表 2。

对比 2 个专业背景的参与者的注视顺序不难发现，工业设计与机械设计学生在观看路径上显著不同，工业设计学生在观看完驾驶室后视线向左上方转移，而机械设计背景的参与者视线则直接向下转移。此外，机械设计背景参与者在观看 3 种不同完成度的方案时，观看次序比工业设计的参与者更加统一，见

表 2 各兴趣区的注视顺序
Tab.2 Fixation sequence of each AoI

顺序	工业设计			机械设计		
	高	中	低	高	中	低
1	驾驶室	驾驶室	驾驶室	驾驶室	驾驶室	驾驶室
2	动臂	动臂	动臂	履带	履带	履带
3	车身	履带	铲斗	铲斗	铲斗	铲斗
4	铲斗	铲斗	履带	动臂	车身	动臂
5	履带	车身	车身	车身	动臂	车身

图 3，其中 a, b, c 是工业设计参与者的观看路径，d, e, f 是机械设计参与者的观看路径。

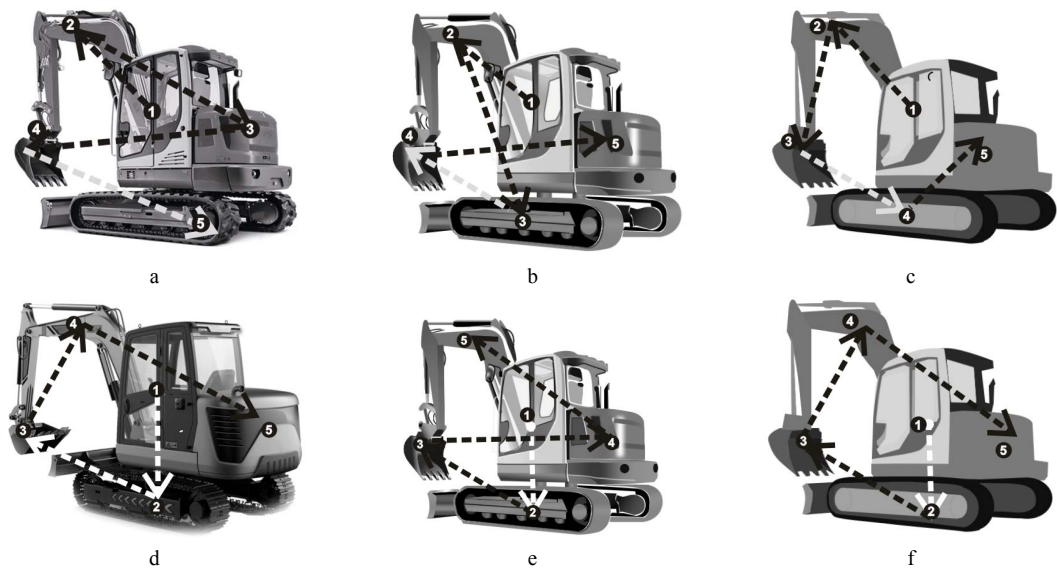


图 3 所有条件下的视觉路径
Fig.3 Scan paths in all conditions

3.3 注视时间和注视点数

策产生的影响,对参与者每幅作品总注视时间和注视
点数做了统计,见表 3。

为了研究设计完成度和专业背景对产品设计决

表 3 每个方案的总注视时间
Tab.3 Total dwell time in each design proposal

	单位: ms											
	高完成度				中完成度				低完成度			
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
工设	3.38	3.52	3.06	3.19	2.69	3.18	2.71	3.03	1.22	1.18	1.25	1.34
机械	3.03	3.11	2.86	2.97	2.20	3.05	2.33	2.87	1.84	1.67	1.89	1.13

比较发现,工业设计学生花费在高完成度和中等完成度的总注视时间比机械设计学生要多;而在低完成度作品上,机械设计的学生花费了更多的时间。

对总注视时间做重复测量方差分析发现,作品的完成程度会对注视时间和注视点数都会产生影响,且主效应显著 ($p<0.001$),见表 4。其中,作品完成度与专业背景对注视时间的交互作用显著($p<0.001$),但对注视点数没有交互作用($p=0.468$)。从专业背景来看,2 个专业学生在每个方案上花费的注视时间存在显著差异 ($p=0.003$),但注视点数没有明显差异

表 4 总注视时间和注视点数的重复测量方差分析结果
Tab.4 Repeated measure ANOVA results of
fixation time and counts

	注视时间			注视点数		
	df	F	Sig.	df	F	Sig.
组内作品完成程度	2	22.6	0.000	2	21.7	0.000
作品完成度×专业背景	2	10.7	0.000	2	0.763	0.468
组间专业背景	2	10.0	0.003	2	0.996	0.352

($p=0.352$)。

3.4 每个兴趣区的平均注视时间和注视点率

注视点率是指每个兴趣区注视点数与总注视点数的比,用于观察参与者的注意力分配情况。所有参与者每个兴趣区的平均注视时间和注视点率见表 5。

对平均注视时间做重复测量方差分析,发现作品完成度对每个兴趣的眼动数据都有显著影响(车身, $p=0.006$; 铲斗, $p<0.001$; 履带, $p<0.001$; 驾驶室, $p<0.001$; 摇杆, $p<0.001$; 动臂, $p=0.001$),见表 6。不同专业对摇杆的关注度有显著差异 ($p<0.001$)。作品的完成度与专业背景的交互作用显著(车身, $p=0.004$; 铲斗, $p<0.055$; 履带, $p<0.012$; 摇杆, $p<0.001$; 动臂, $p=0.002$)。这说明在上述兴趣区内,作品的完整度与专业背景存在相互影响。作品完成度对参与者的注意力分配影响相对较弱,仅在车身、铲斗和动臂 3 个区域有显著影响。此外工业设计与机械设计学生在履带这个区域的注意力分配具有较大差异,通过热区图发现,机械设计在该区域关注时间显著多于工业设计学生,见图 4。

表 5 每个兴趣区的平均注视时间和注视点率
Tab.5 Mean fixation time and proportion of fixation counts of each AoI

兴趣区	平均注视时间/s						注视点率/%					
	工业设计			机械设计			工业设计			机械设计		
	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低
车身 (SD)	0.56 (0.45)	0.30 (0.11)	0.16 (0.08)	0.27 (0.24)	0.17 (0.16)	0.32 (0.26)	14.5	4.9	10.9	9.3	6.6	15.9
摇杆 (SD)	0.27 (0.23)	0.49 (0.37)	0.18 (0.13)	0.29 (0.17)	0.43 (0.32)	0.28 (0.16)	9.2	15.7	13.4	10.1	14.6	13.7
履带 (SD)	0.30 (0.21)	0.66 (0.45)	0.23 (0.21)	0.44 (0.34)	0.50 (0.29)	0.34 (0.23)	14.8	16.7	15.4	28.1	22.3	16.4
驾驶室 (SD)	1.44 (0.68)	1.11 (0.72)	0.72 (0.39)	1.31 (0.85)	1.07 (0.41)	0.71 (0.57)	44.9	45.6	41.1	42.2	43.5	36.2
铲斗 (SD)	0.34 (0.12)	0.69 (0.48)	0.73 (0.57)	1.47 (0.93)	0.04 (0.03)	0.08 (0.02)	7.4	3.1	4.8	3.3	1.7	4.3
动臂 (SD)	0.68 (0.23)	0.37 (0.18)	0.24 (0.15)	0.29 (0.13)	0.24 (0.17)	0.24 (0.12)	9.2	13.8	14.8	7.4	11.3	13.5

注: 括号中的数据表示标准差

表 6 每个兴趣区的平均注视时间和注视点率的重复测量方差分析结果
Tab.6 Results of ANOVA of each AoI in mean dwell time and fixation counts proportion

测量值			车身	铲斗	履带	驾驶室	摇杆	动臂
平均注视时间	完成度	<i>F</i>	6.187	10.4	19.05	22.34	30.08	9.338
		<i>p</i>	0.006**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.001**
	专业背景	<i>F</i>	0.831	0.005	0.172	0.296	14.18	8.898
		<i>p</i>	0.368	0.946	0.681	0.590	0.001**	0.005**
	完成度*专业背景	<i>F</i>	6.897	3.308	4.664	0.174	15.44	8.103
		<i>p</i>	0.004**	0.055*	0.012*	0.784	0.000**	0.002**
注视点率	完成度	<i>F</i>	10.397	23.977	1.043	3.213	3.082	9.184
		<i>p</i>	0.045*	0.014*	0.453	0.148	0.178	0.053*
	专业背景	<i>F</i>	0.460	0.011	13.213	0.198	1.200	0.329
		<i>p</i>	0.841	0.922	0.018*	0.679	0.335	0.597
	完成度*专业背景	<i>F</i>	1.336	0.779	2.537	0.460	3.011	0.793
		<i>p</i>	0.548	0.852	0.155	0.912	0.093	0.611

注：* 代表 $P<0.05$ ，** 代表 $P<0.01$

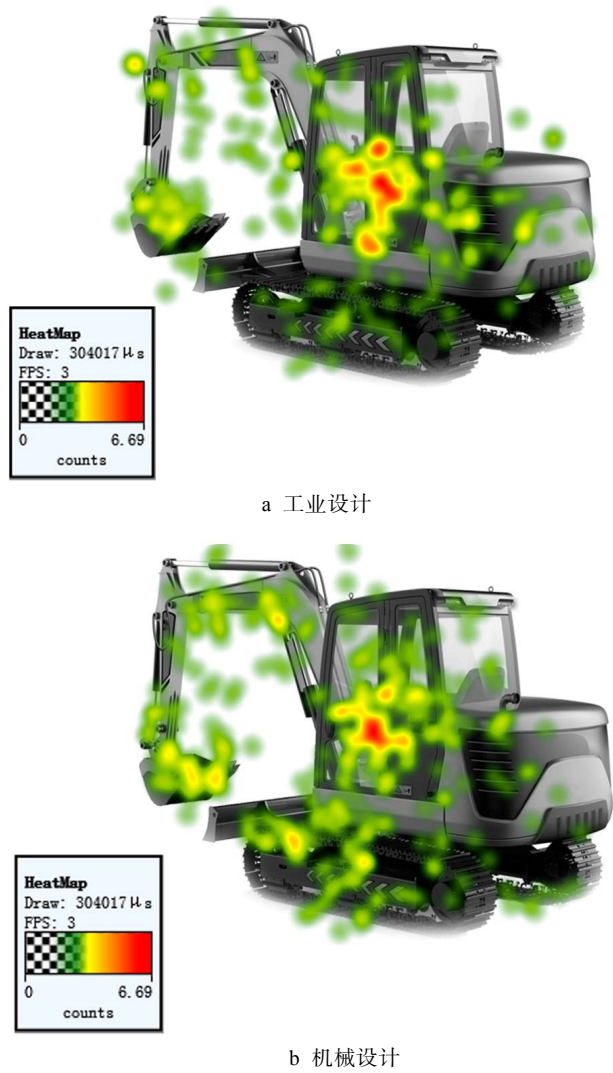


图 4 同一方案不同专业背景的热区图
Fig.4 Heat maps of same design proposal with different professional backgrounds

4 讨论

本研究探讨了不同完成度的设计作品和学生专业背景对设计决策眼动行为的影响。研究发现，完成度越高的作品，注视点数和注视时间越高于低完成度作品，且没有专业差别。作品完成程度对用户观看作品的注视点数和注视时间主效应显著。可以推测出，好作品更容易受到人们的关注，不论观看者是什么背景。因此，用户的注视点数和注视时间是判断用户对该设计作品是否感兴趣的重要指标。

不同专业背景的用户眼动轨迹顺序存在差异(见图 3)，这表明用户欣赏或评价作品是根据自身专业背景出发的，本研究中眼动轨迹为这一判断提供了有力证据。从眼动轨迹结果推测，设计师更关注产品的细节、美感以及整体的协调，机械学生更关注功能部件、受力等因素。

具体到各个兴趣区所分配的注视时间和注视点数的研究，专业背景对各兴趣区时间分配的影响不大，但作品完成程度的影响较大(见表 5)。结果表明，影响设计决策的最重要的因素是作品，而非专业背景。

综上所述，研究设计决策过程中，用户的眼动变化情况能够为设计作品的评价提供一个更加客观的生理指标。本研究另一个意义在于，在产品评价的基础上，提供了一种新的客观生理评价方法，用以判断评价设计作品。

5 结语

不同专业背景的参与者在观看产品效果图时选择的视觉策略具有较大差异。首先，首个关注区域上，不同专业 and 不同完整度都没能影响参与者关注区域

的一致性。参与者都将关注点放在了驾驶室。其次,在注视顺序上,工业设计学生倾向于从中心外置向左上观看,而机械设计学生则倾向于从中心位置向下方观看。再次,在关注时间分配上,机械设计学生在履带上花费时间较多,注视点也较多,而工业设计学生在驾驶室和车身的注视时间和注视点较多。通过眼动追踪发现,专业差异导致两个专业的学生的关注点具有很大差异,尤其体现在机械设计专业的学生对履带的关注和工业设计学生对履带的漠视上。眼动路径的差异和感兴趣区的差异最终导致了设计决策时的分歧,因此本研究为产品设计决策分析的产生原因从视觉追踪的视角提供了新的解释。

参考文献:

- [1] 侯冠华. 结合博弈思想与模糊分析的产品设计决策研究[J]. 机械设计, 2014, 31(7): 117—120.
HOU Guan-hua. Research and Application of Product Appearance Gene in Perceptual Image Model[J]. Journal of Machine Design, 2014, 31(7): 105—108.
- [2] 侯冠华. 产品造型基因意向模型的建立及其应用[J]. 机械设计, 2014, 31(3): 105—108.
HOU Guan-hua. Study on product Design Decision-making Combining Game Theory with Fuzzy Analysis [J]. Journal of Machine Design, 2014, 31(3): 105—108.
- [3] 苏建宁, 江平宇. 感性工学及其在产品中的应用研究[J]. 西安交通大学报, 2004, 38(1): 60—63.
SU Jian-ning, JIANG Ping-yu. Research on Kansei Engineering and Its Application to Product Design[J]. Journal of Xi'an Jiao Tong University, 2004, 38(1): 60—63.
- [4] 徐志宏, 宋维宾. 基于 Kano 模式和质量功能配置的产品设计决策支援研究[J]. 价值工程, 2013(23): 29—31.
XU Zhi-hong, SONG Wei-bin. Study of Decision Support for Communication Product Design Based on Kano's Model and QFD[J]. Value Engineering, 2013 (23): 29—31.
- [5] 李玉良, 潘双夏. 基于敏度分析和知识推理的产品协同决策[J]. 机械工程学报, 2006, 42(9): 33—42.
LI Yu-liang, PAN Shuang-xia. Sensitivity and Knowledge Based Collaborative Product Decision Making[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering[J]. 2006, 42(9): 33—42.
- [6] 邓丽, 余隋怀. 基于 Vague 集的人机界面布局眼动追踪评价[J]. 工程设计学报, 2016, 23(3): 222—227.
DENG Li, YU Sui-huai. Eye Tracking Evaluation of Human-machine Interface Layout Based on Vague Set[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2016, 23(3): 222—227.
- [7] 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, 2010, 40(2): 331—334.
LIU Qing, XUE Cheng-qi, FALK H. Interface Usability Evaluation Based on Eye Tracking Technology[J]. Journal of South East University, 2010, 40(2): 331—334.
- [8] PARK H. Using Eye Movement Data to Infer Human Behavioral Intentions[J]. Computers in Human Behavior, 2016(63): 796—804.
- [9] PONCE H R. An Eye Movement Analysis of Highlighting and Graphic Organizer Study Aids for Learning from Expository Text[J]. Computers in Human Behavior, 2014(41): 21—32.
- [10] LOCHER P. Visual Interest in Pictorial art During an Aesthetic Experience[J]. Spatial Vision, 2001, 21(1/2): 55—77.