

基于眼动实验的电助力自行车电池盒隐蔽性设计评价

汪柳, 邱越, 褚晓伟, 余琦佩
(北京理工大学, 北京 100081)

摘要: **目的** 研究当前市场上电助力自行车电池盒的隐蔽程度, 并对其进行量化评价, 对电助力自行车电池盒的隐蔽性进行设计研究, 在一定程度上提高设计评价的客观性, 并为电助力自行车的生产企业和设计从业人员提供一定的参考依据。 **方法** 采用眼动追踪实验, 分析实验中的 AOI (Area Of Interest, AOI) 首次注视时间和 AOI 区域的总注视时间数据, 采用李克特量表法对电助力自行车电池盒的隐蔽程度进行主观评价, 将眼动追踪实验分析结果与主观评价结果相结合进行分析, 对市场上具有代表性的九款电助力自行车电池盒的隐蔽程度进行量化分析。 **结论** 得出电池盒安装在自行车的下管位置时隐蔽性最好, 其次是后座和立管的位置。此方法可以为电助力自行车设计的整体化及一体化提供一定的设计参考和分析方法。

关键词: 电助力自行车; 电池盒; 隐蔽性; 眼动追踪; 设计评价

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)06-0247-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.06.038

Design Evaluation of Concealment of Electric Bicycle Battery Case Based on Eye Tracking Experiment

WANG Liu, QIU Yue, CHU Xiao-wei, YU Qi-pei
(Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

ABSTRACT: The work aims to study and make a quantitative evaluation on the concealment degree of the electric bicycle battery case in the current market, besides design and study the concealment of the electric bicycle battery case. Furthermore, it purposes to improve the objectivity of design evaluation to a certain extent and provide certain reference basis for the manufacturers and design practitioners of the electric bicycle. Eye tracking experiment was conducted to analyze the AOI (Area of Interest) first fixation time and total fixation time data. A likert scale method was used to subjectively evaluate the concealment degree of electric bicycle battery case. The eye tracking experiment analysis results were combined with subjective evaluation results to quantitatively analyze the concealment degree of nine representative battery cases of electric bicycle in the market. It is concluded that the battery case has the best concealment when installed at the lower tube of the bicycle, followed by the rear seat and vertical tube. The proposed method can provide a certain design reference and analysis method for the integration and incorporation of electric bicycle design.

KEY WORDS: electric bicycle; battery case; concealment; eye tracking; design evaluation

电助力自行车指装有锂电池、电机和控制系统组件等以辅助行驶的, 外观类似于自行车的产品^[1]。近年来我国生产的电助力自行车主要在欧美等国家销售, 其性能、价格及外观设计等因素在很大程度上影响着其在市场上的竞争力。目前, 电助力自行车的设

计正朝着轻量化和车架设计一体化的方向发展。其中外观设计受其本身所属基本功能类型及不同表现风格影响。对于电池盒与车架的位置及结构关系而言, 电池盒、电机与车架的整体设计越融洽, 轮廓线条就更流畅, 外观就越和谐与美观。然而, 对于其外观设

收稿日期: 2020-01-03

作者简介: 汪柳 (1994—), 女, 河南人, 北京理工大学硕士生, 主攻产品设计。

通信作者: 邱越 (1965—), 男, 江苏人, 博士, 北京理工大学副教授, 主要研究方向为产品设计。

计的评价,尤其是其电池盒与车架设计的整体化程度尚缺少客观的评估和认识。

在欧美国家,电助力自行车的用户主要是热爱户外运动运动的老年人,年轻时热爱骑自行车,随着体力的下降,需要电助力的自行车来维持原来的运动爱好,他们更希望电助力自行车的外形像普通的自行车^[2]。在销往欧美的电助力自行车中,电池盒隐蔽性强的自行车往往销量更好、更受欢迎。电池盒的隐蔽性设计,不仅体现了电助力自行车车架设计制造技术的成熟,而且在实际使用环境中可以更好保护电池盒不受外界物理及化学因素的破坏和侵蚀,电动自行车主要类型见图1。

1 眼动实验理论

近年来,眼动追踪技术在界面设计、交互设计和可用性测试等领域得到广泛应用。在产品外观造型设计领域,主要应用于车辆外观方案评估、色彩优选等方面的设计评价。戚彬等通过眼动追踪实验,提出了以确定形态仿生特征来激发设计师产品造型创意的方法,并在平地机造型上验证^[3]。胡伟峰等结合眼动实验和层次分析法总结出压裂车造型设计规律并进行了设计实践^[4]。史庆春等用SD法筛选了意向词汇与抛光机样本并采用眼动实验与用户客观认知匹配^[5]。唐帮备等提出了一种联合眼动和脑电的用户体验评选方法并对模型进行了验算^[6]。Khalighy等提出了一种通过应用眼动追踪技术量化产品设计中视觉美学质量的方法^[7]。然而,对电助力自行车的造型设

计研究目前尚属空白。传统的主观评价法受被试者主观情感喜好影响较大,需要客观实验数据来反映人们的潜意识行为。采用眼动实验可以通过客观的实验数据来分析解决这两个问题,使实验结果更加客观、准确。

本文采用了眼动数据中AOI(Area Of Interest)兴趣区域的分析方法,AOI区域的一系列数据能反映主体对该区域吸引力的强弱,通过衡量寻找目标AOI区域所需时间长短以及AOI总注视时长来判断哪种设计能最好地表现其隐蔽性。

2 电助力自行车样本选择与处理

电助力自行车除电力系统外,其余结构与传统自行车一致,主要包括车架、车轮、车把、脚踏部件、前叉和链条等,电池盒的造型及安装位置对电助力自行车的整体造型设计影响最大。经前期调研发现,目前市场上电助力自行车的电池盒安装位置主要有三大类,具体分为下管式、立管式和后座式。本实验根据电助力自行车电池的安裝位置,搜集了五十二个在市场上销售的、来自不同品牌的电助力自行车样本图片,根据电池盒的安装类型,筛选具有代表性的电助力自行车九辆,其中下管式三辆,立管式三辆、后座式三辆,电助力自行车样本见图2。电助力自行车样本AOI区域划分见图3,将每个样本根据电池盒安装位置进行兴趣区域划分,彩色区域的电池盒为目标兴趣区域,AOI区域划分见图4。

电助力自行车的侧视图最能体现其造型风格特



图1 电动自行车主要类型
Fig.1 Main types of electric bicycle

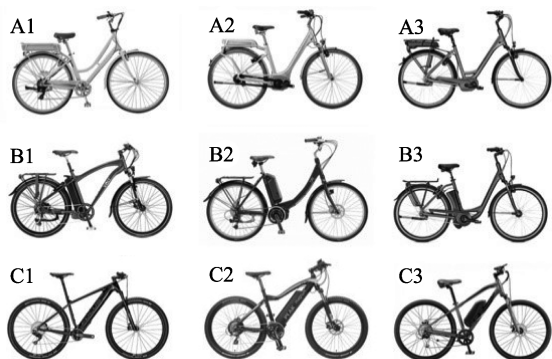


图2 电助力自行车样本
Fig.2 Electric bicycle samples

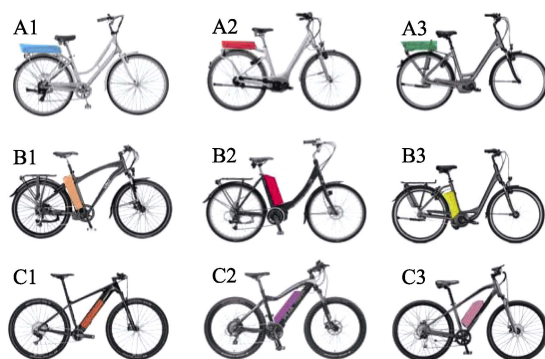


图3 电助力自行车样本AOI区域划分
Fig.3 AOI division of electric bicycle samples



图 4 AOI 区域划分
Fig.4 AOI division

征，因此选择的图片均为侧视图。为避免色彩、图案及商标对实验结果的影响，选择车型的涂装均为黑色、白色或灰色，并且将电池盒上的商标及图案设计进行涂抹处理^[8]。在预实验中发现，被试在黑屏过渡时总会将视点停留在屏幕的中间位置，会对注视点首次进入 AOI 区域的判断产生干扰，因此将实验设计为显示黑屏时，要求被试观察黑色图片上固定位置的圆点，转移被试的注视位置。圆点位置见图 5，该圆点位于以后座、立管、下管中心位置为圆心，等半径画这三个圆的交点位置，以此保证每次出现样本图片时注视点到达目标 AOI 区域的最短距离是一致的。另外，将每组样本出现的顺序在被试中随机设置，以避免因播放顺序不同带来的误差。

3 眼动追踪实验

3.1 主观评价

眼动实验开始前，邀请十五名被试通过问卷对各款电助力自行车的电池盒隐蔽程度进行主观性评价。问卷采用李克特量表法，根据电助力自行车电池的安装位置，选择了下管式、立管式、后座式各三个样本侧视图，除去图片背景以及车身杂色，使图片大小一致，减少其他因素对实验结果的干扰。每个样本根据电池盒隐蔽程度设立非常暴露、暴露、一般、隐蔽和非常隐蔽五个尺度，分值区间为 1~5 分，分值越大表示电池盒隐蔽程度越高。

十五份问卷填写结束后对其进行数据分析，取每组的平均值进行对比，得到结果为下管式>后座式>立管式，说明在被试的主观认知中，下管式的电池盒设计最隐蔽，后座式次之，立管式最暴露，主观评分见表 1。

3.2 眼动实验被试对象

选取十六名没有参与过上述主观评价的被试人员，其中男性五人，女性十一人，均为设计专业在读研究生。在所有被试中，有 4 人对电助力自行车有一定的了解，有 12 人未曾见过电助力自行车。所有被试视力经矫正后能达到 1.5 且无散光等情况，在实验开始前均能准确使用眼动仪。



图 5 圆点位置
Fig.5 The dot position

表 1 主观评分表
Tab.1 Subjective score

样本	单个样本平均值	每组样本平均值
后座式	A1 3.20	3.16
	A2 3.33	
	A3 2.93	
立管式	B1 2.60	2.36
	B2 2.80	
	B3 1.67	
下管式	C1 4.87	3.44
	C2 3.40	
	C3 2.07	

3.3 实验仪器

实验使用 Tobii Pro Glasses 2 型眼动仪进行。该系统主要由眼镜捕捉模块、记录模块、控制软件和数据分析软件组成，可以获得自然的行为数据。实验材料呈现于大小为 27 英寸，分辨率为 2560×1440 的显示器上。

3.4 实验过程

实验过程如下。

- 1) 正式实验开始前，实验人员向被试对象简单介绍电助力自行车的基本情况，并无暗示电池盒的位置，然后开始实验。实验过程见图 6，被试采用坐姿并与显示屏保持平视，眼睛距显示屏约 60 cm 进行观察。
- 2) 实验开始，观察图片上的电助力自行车，寻找电池盒的安装位置，在找到电池盒后对电池盒进行注视。
- 3) 当屏幕显示黑色时，眼睛注视黑屏上的圆点。
- 4) 重复上述步骤，至九张样本播放完毕，最后进行主观评价打分。包括任务描述在内的整个幻灯片的播放时间为 152 s，实验过程中被试对象并无明显的疲劳感，眼动实验的数据有效。

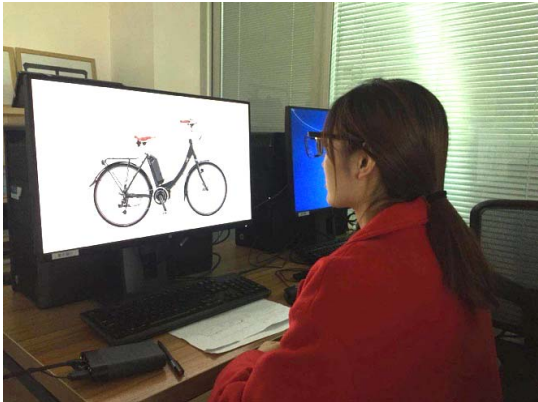


图 6 实验过程
Fig.6 Experimental process

4 实验数据处理

本次实验主要采用 AOI 首次注视时间和 AOI 区域的总注视时间两个眼动数据。首次注视时间指评价

主体第一次停留在该区域的时间^[9]，其时间长短反映了该区域对主体的吸引程度。AOI 区域的总注视时间长短反应了对象对主体的吸引程度，时间越长该位置越能引起主体的注意，时间越短表示对主体的吸引力越弱^[10]。以样本 C1 为例，得到其十五个被试的 AOI 首次注视时间原始数据见图 7，可以从 Count（表示是否有注视点进入 AOI 区域）一行中看到只有七个人找到了目标区域，完成了实际任务，AOI 区域的平均首次注视时间是 4.93 s。

实验结束后，整理实验结果，排除一组眼动数据采集率较低的数据，最终得到十五组被试的眼动数据和主观评价。AOI 眼动数据见表 2，九个样本中的十五个被试在观察样本图片时首次到达 AOI 区域的时间见表 2。每组样本 AOI 首次进入时间平均值进行对比，得到下管式的平均值 3.18>后座式的平均值 2.50>立管式的平均值 2.12，说明了被试在观察样本时，平均花最多时间到达目标 AOI 区域的是下管式电池盒，其次是后座式，最后是立管式，由此可见，下管式电

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	样本C1							
2	Time To First Fixation	Participant	Polygon	Average	Median	Count	Total Recording Duration	
3	Recording105	1				0	246.63	
4	Recording106	2				0	232.57	
5	Recording107	3	7.98	7.98	7.98	1	241.20	
6	Recording108	4	6.20	6.20	6.20	1	247.32	
7	Recording109	5				0	241.10	
8	Recording112	6	7.22	7.22	7.22	1	230.22	
9	Recording113	7	3.61	3.61	3.61	1	223.77	
10	Recording114	8				0	226.74	
11	Recording115	9				0	224.07	
12	Recording116	10				0	237.92	
13	Recording118	11				0	245.88	
14	Recording119	12	2.94	2.94	2.94	1	232.80	
15	Recording120	13				0	243.34	
16	Recording122	14	6.36	6.36	6.36	1	241.57	
17	Recording123	15	0.24	0.24	0.24	1	202.28	
18	Average		4.93	4.93	4.93	0.47	234.49	
19	Count		7					

图 7 样本 C1 的 AOI 首次注视时间原始数据
Fig.7 Original data of AOI first fixation time of sample C1

表 2 AOI 眼动数据
Tab.2 Eye movement data of AOI

样本		单个样本 AOI 首次进入时间	每组样本 AOI 首次进入时间平均值	单个样本 AOI 总注视时长	每组样本 AOI 总注视时长平均值
后座式	A1	1.93	2.50	2.80	2.99
	A2	3.23		2.16	
	A3	2.33		4.01	
立管式	B1	1.64	2.12	4.15	3.66
	B2	2.64		3.11	
	B3	2.09		3.71	
下管式	C1	4.93	3.18	1.48	2.93
	C2	2.05		2.90	
	C3	2.55		4.43	



图8 设计实例
Fig.8 Example of design

池盒的隐蔽性设计最好,其次是后座式和立管式。然后,将每组样本 AOI 总注视时长平均值进行对比,得到立管式的平均值 3.66>后座式的平均值 2.99>下管式的平均值 2.93,说明了被试在观察每组样本时,在目标 AOI 区域的总时间最少的是下管式电池盒,其次是后座式,最后是立管式,说明了下管式的电池盒的隐蔽性设计最好,其次是后座式和立管式。两组数据反映了相同的规律,且与主观评价的分析结果基本吻合,说明实验眼动数据能表明这几个种类电池的隐蔽性程度。

5 设计实例

以实验结果为指导,对电助力自行车进行造型设计实践。设计实例见图8,电池盒位置设计为下管式,将电池盒与自行车的下管进行一体化设计,弱化电池盒带来的视觉影响,整体造型简洁,符合欧美市场主流消费者的审美要求。

6 结语

本文结合眼动数据中,首次到达 AOI 区域的时间和 AOI 区域总注视时间的情况,得出目前这三类电助力自行车电池盒设计的隐蔽性客观评价结果,发现下管式的电池设计隐蔽性最好。经过主观评价的验证,发现眼动数据可以一定程度上反映电助力自行车电池盒设计的隐蔽性,为设计师进行电助力自行车的整体化及一体化设计提供了相关依据和客观分析方法,也给电助力自行车设计和电池盒生产企业带来了一定的参考价值。当然,最终的设计要反映电助力自行车设计的普遍原则和实际的功能、性能以及成本的要求。

文中仅针对九款排除了色彩和涂装影响因素后的,电助力自行车电池盒的造型进行分析,具有一定的局限性,后期可增加样本量或针对同一产品的不同涂装设计进行更加全面的分析,使结果更加完善和有效。另外,也可运用此方法对三维模型或实物产品进行评价,如电子产品局部细节设计的可见性评价等,帮助提高设计质量,从而进一步验证和完善此方法。

参考文献:

- [1] FISHMAN E, CHERRY C, 秦维. 电动自行车交通发展的主要趋势——近 10 年文献综述[J]. 城市交通, 2016, 14(2): 83-96.
FISHMAN E, CHERRY C, QIN Wei. E-bikes in the Mainstream: Reviewing a Decade of Research[J]. Urban Transport of China, 2016, 14(2): 83-96.
- [2] JONES T, HARMS L, HEINEN E. Motives, Perceptions and Experiences of Electric Bicycle Owners and Implications for Health, Wellbeing and Mobility[J]. Journal of Transport Geography, 2016, 53(4): 41-49.
- [3] 戚彬, 余隋怀, 王森, 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(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(6): 125-128.
- [4] 胡伟峰, 张坤, 张忠亚. 基于眼动追踪技术的压裂车外观设计评估研究[J]. 机械设计, 2015(6): 109-112.
HU Wei-feng, ZHANG Kun, ZHANG Zhong-ya. Evaluation on Modeling Design of Fracturing Truck Based on Eye-Tracking Technology[J]. Journal of Machine Design, 2015(6): 109-112.
- [5] 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(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(8): 105-108.
- [6] 唐帮备, 郭钢, 王凯, 等. 联合眼动和脑电的汽车工业设计用户体验评选[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(6): 1449-1459.
TANG Bang-bei, GUO Gang, WANG Kai, et al. User Experience Evaluation and Selection of Automobile Industry Design with Eye Movement and Electroencephalogram[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(6): 1449-1459.
- [7] KHALIGHY S, GREEN G, SCHEEPERS C, et al. Quantifying the Qualities of Aesthetics in Product Design Using Eye-tracking Technology[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2015, 49(5): 31-43.
- [8] 刘超. 基于眼动研究的工程机械驾驶室内饰评价方法研究[D]. 济南: 山东大学, 2010.
LIU Chao. The Evaluation Method of the Machinery Cab Interior Based on the Eye-movement Research[D]. Jinan: Shandong University, 2010.
- [9] 卢兆麟, 张悦, 成波, 等. 基于风格特征的汽车造型认知机制研究[J]. 汽车工程, 2016, 38(3): 280-287.
LU Zhao-lin, ZHANG Yue, CHENG Bo, et al. A Study on the Cognitive Mechanism of Car Styling Based on Style Feature[J]. Automotive Engineering, 2016, 38(3): 280-287.
- [10] DUCHOWSKI A T. Eye Tracking Methodology: Theory and Practice[M]. London: Springer, 2003.