



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20160332

## 基于混合方法的眼动实验 AOI 划分及设计评价

王新亭, 方雪, 张琰, 王欢欢

(天津市轻工与食品工程机械装备集成设计与在线监控重点实验室, 天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

**摘要:** 为进一步提升工业产品评价类眼动实验的合理性, 解决实验中 AOI 划分缺乏系统方法的问题, 提出了基于混合方法的眼动实验 AOI 划分方法. 通过分析混合研究方法的类型和程序, 构建基于顺序探究设计的 AOI 划分方法模型. 以评价现调机设计方案的眼动实验 AOI 划分为例, 验证该方法模型的可靠性. 在质化研究部分应用扎根理论和质化分析软件, 在量化研究部分开展眼动预实验, 最终应用因子分析获得现调机的灯箱、接水盘两个 AOI, 为进一步开展正式眼动实验提供了保障. 该研究提供一套易于操作的用于设计评价类眼动实验的 AOI 划分方法, 有助于提升 AOI 划分合理性, 提高眼动实验效率, 筛选有价值的研究对象, 更好地推动设计评价和产品设计的开展.

**关键词:** 混合方法; 眼动实验; 兴趣区 (AOI); 设计要点

中图分类号: TB472

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2017)06-0047-06

## AOI Division of Eye-movement Experiments and Design Evaluation Based on Mixed Methods

WANG Xinting, FANG Xue, ZHANG Yan, WANG Huanhuan

(Tianjin Key Laboratory of Integrated Design and On-line Monitoring for Light Industry & Food Machinery and Equipment, Collge of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** In order to improve the rationality of the eye-movement experiment in industrial product evaluation and solve the problem of lacking in systematic AOI division, an AOI division method of eye-movement experiment based on mixed methods is proposed. By analyzing the type and procedure of mixed research methods, a model of AOI division method based on order to explore the design model is built. Taking the AOI division of eye-movement experiment in evaluation of the design of the tune as an example, the reliability of the model is verified. The grounded theory and the qualitative analysis software are applied in qualitative research and the pre-eye-movement experiment is carried out in quantitative research. Finally, for carrying out the last phase of the eye-movement experiment, factor analysis is used to obtain two AOI: the tune of the light box and the water tray. This study can provide an AOI division method of eye-movement experiment for design evaluation, which helps to improve the rationality of AOI division, improve the efficiency of eye-movement experiment, identify valuable research object, and promote the design evaluation and product design.

**Key words:** mixed methods; eye-movement experiment; area of interest; design feature

混合方法研究 (mixed methods research) 是指在同一研究中将定性与定量研究方法相结合的一种研究类型, 是实证研究中的第 3 类范式, 自 20 世纪 80 年代开始被普遍使用和接受<sup>[1]</sup>. 美国教育研究方法论学者 Johnson 和 Onwuegbuzie 曾明确提出“混合方法研究的时代已经来临”<sup>[2]</sup>. 混合方法在工业设计中

(网页可用性评价、产品情感测量、产品设计方案评估等) 都早有体现, 但尚未被提炼成一种系统的设计研究方法. 不同于社会学科中的混合方法, 混合方法在工业设计中的应用有特殊的表征理论、流程模式和操作机制. 因此, 本文对工业设计领域眼动评价研究中的 AOI 划分方法进行分析归纳, 提出基于混合方

收稿日期: 2016-10-12; 修回日期: 2017-02-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (5150333, 51405341); 天津市自然科学基金资助项目 (14ZCZDSY00010, 15JCYBJC19300)

作者简介: 王新亭 (1978—), 男, 山东武城人, 副教授, xinting1688@163.com

数字出版日期: 2017-04-20; 数字出版网址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1355.N.20170420.1441.002.html>

法的眼动 AOI 划分方法模型, 并进行应用性验证.

### 1 眼动评价研究中 AOI 划分现状

眼动实验因其很大程度的客观性、准确性在工业设计评价中被广泛应用, 其中眼动实验中的 AOI 是指研究者所关注的、被试对刺激信息感兴趣的注视区域, 是分析眼动结果的基本单位<sup>[3]</sup>. 准确、合理、科学地划分 AOI, 有助于广泛发现研究目标的问题, 精确考察测试用户的视觉特性, 有效提高实验效率. 特别是在设计评价类实验中, AOI 直接关系到研究对象和最终的实验结果.

国内学者曾在眼动实验中从多个角度划分 AOI, 唐帮备等<sup>[4]</sup>把 4 款不同汽车效果图分别作为 AOI, 研究联合眼动和脑电的汽车设计用户体验评选; 王宁等<sup>[5]</sup>把不同形状的研究对象作为人机交互界面视觉显著度眼动实验中的 AOI; 蒋鹏<sup>[6]</sup>基于网页布局划分出 3 个眼动 AOI, 开展研究网站可用性测试的眼动实验; 刘超<sup>[7]</sup>基于仪表盘区、方向盘轴心区、方向盘手柄区等设计要素为眼动 AOI, 开展研究装载机 and 挖掘机驾驶室内饰的眼动实验; 胡伟峰等<sup>[8]</sup>基于造型结构和色彩分层 2 个眼动 AOI, 开展研究压裂车外观设计评估的眼动实验.

上述研究为眼动 AOI 划分方法研究奠定了基础, 但大部分研究并未明确提出划分 AOI 的具体原理和方法, 多采用凭经验、凭直觉的主观划分方法, 因而会消弱实验科学性. 面对本身缺乏逻辑推导性的工业设计评价过程, 在进行量化的眼动实验前, 有必要提出系统的眼动 AOI 划分方法, 使依靠半经验化的设计评价有效过渡到采用严谨的实验方法中去.

### 2 基于混合方法的眼动 AOI 划分方法

#### 2.1 混合研究方法的类型和步骤

在复杂而具体的项目中, 质化研究和量化研究混合形式多种多样, 较为常见的混合方法形式分为 3 种设计共 6 种类型, 即顺序法、转换法、并行法 3 种设计; 顺序解释设计、顺探究设计、并行转换设计、顺序转换设计、并行嵌套设计和并行三角互证设计 6 种类型<sup>[9]</sup>. 通过文献研究, 总结出混合研究方法 6 种类型的可视模型, 见图 1. 完整的混合方法程序主要包括 8 个步骤<sup>[10]</sup>: (1) 确定研究问题, 即是否采用混合研究

方法; (2) 明确研究目的, 即阐述选择混合研究方法的理由; (3) 选择研究模式; (4) 整理研究数据; (5) 分析研究数据, 即包括数据压缩、数据展示、数据关联、数据转换、数据聚合、数据比较和数据整合 7 个环节; (6) 核实研究数据; (7) 解释研究数据, 即赋予整合后的数据以意义; (8) 撰写研究报告.

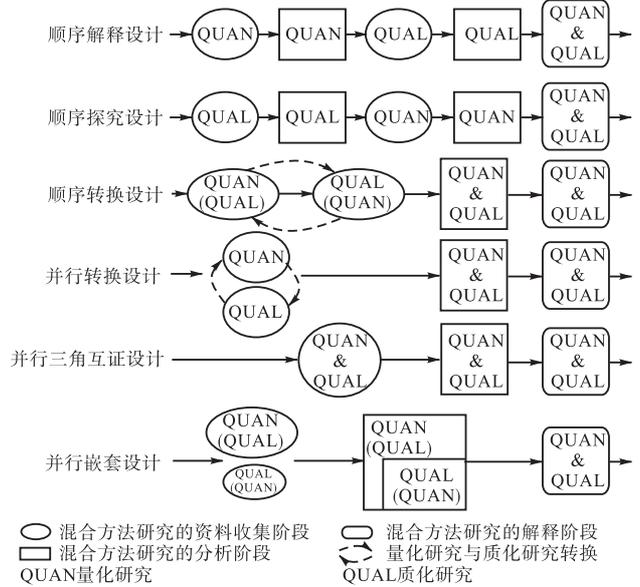


图 1 不同混合研究方法的可视模型

Fig. 1 Visual model of mixed research methods

在混合方法研究中, 方法多样, 过程复杂, 主要表现在质化研究和量化研究所占比重、开展次序、结合阶段等的调控上, 也正是因为这些内在属性, 从而产生了不同类型的混合方法和操作机制.

#### 2.2 基于混合方法的 AOI 划分方法模型

选择混合模式类型中顺序探究方法应用于眼动 AOI 的划分研究中, 这种混合研究方法可以探究研究中的现象, 适合用来检验质化研究阶段得出的理论, 通过量化研究增加质化研究的准确性, 提高研究项目结果的可推广性<sup>[11]</sup>.

结合传统顺序探究方法、混合方法的研究步骤和眼动实验特点, 提出基于顺序探究的 AOI 划分方法模型, 见图 2. 具体是先进进行质化研究, 再进行量化研究, 质化研究和量化研究结果在最后的解释阶段加以整合. 质化分析阶段主要应用扎根理论, 量化分析阶段主要应用眼动实验. 该方法模型清晰地反映了研究进程及每个研究阶段的任务、方法和产出, 纵向为整个方法流程, 横向为方法实施各阶段. 与通常的工业设计眼动实验方法不同, 即在正式眼动实验之前使用该方法获得更为合理的 AOI.

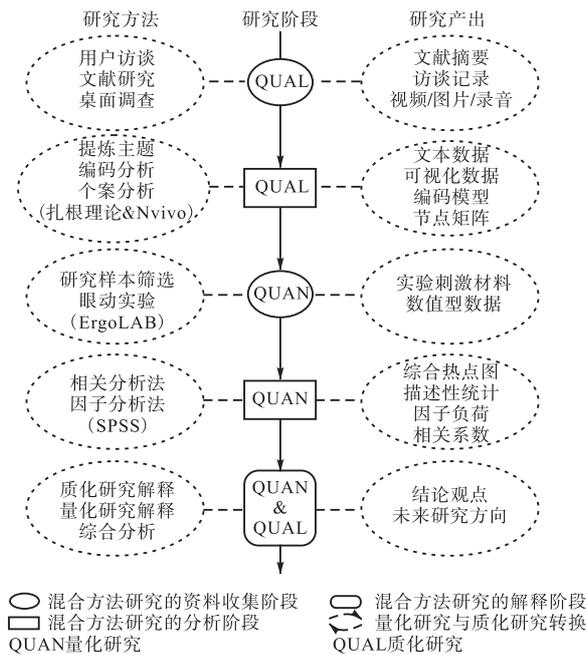


图2 基于顺序探究的 AOI 划分方法模型

Fig. 2 AOI division method model based on sequential inquiry

### 3 AOI 划分方法在眼动设计评价中的应用

#### 3.1 现调机 AOI 的质化

由于新产品开发时设计方案多种多样, 基于计算机辅助技术的产品结构图可以在缩短时间、降低成本的基础上, 较为完善地反映设计特征和细节, 因此初步选择现调机结构图进行用户评价, 并将上述方法模型应用于现调机设计评价的眼动 AOI 划分中。

##### 3.1.1 质化数据收集

定性研究方法是社会学领域中重要的研究传统, 克雷斯韦尔曾把定性研究分为生活史、现象学、扎根理论、民族志和个案研究五大方法<sup>[12]</sup>, 其中扎根理论是运用系统化程序, 针对某一现象归纳式地引导出扎根的理论的一种定性研究方法<sup>[13]</sup>。鉴于目前眼动 AOI 划分基础薄弱的特点, 将扎根理论思想融入基于顺序探究的 AOI 划分方法模型中。

在保证样本理论饱和性的前提下, 收集国内已经开展的工业设计类眼动实验 24 个, 摘取实验中对测试对象、实验仪器、实验材料、眼动指标和 AOI 划分 5 部分的内容原句, 整理成 Word 文档。借助计算机辅助定性数据分析软件 Nvivo11.0, 把实验作为案例录入, 形成软件内部材料, 然后对材料进行反复阅读。进而进行案例分类, 设置类别及类别属性, 把研究问题聚焦在眼动实验前 AOI 的选取上。

#### 3.1.2 质化分析

在 Nvivo11.0 中基于扎根理论进行质化分析主要有 3 个步骤: 自由编码、主轴编码、核心编码。首先, 进行自由编码, 根据 AOI 划分基本原理和对设计学的理解, 提炼出实验案例中有关 AOI 划分方法的原始字眼, 整合成 24 个初始编码, 实现 AOI 划分方法的概念化和范畴化。编码时为避免主观认识干扰, 尽量使用文献原文语句作为编码节点。其次, 进行主轴编码, 由于初始概念层次相对较低且数量繁多和存在交叉, 需要对其进一步分解、剖析和提炼以将相关节点聚集在一起。将 24 个无序节点进行分类、合并和分层, 把逻辑关系一致的节点合为父节点, 形成形状分析法、内容分割法、时间节点法、任务流程法和未划分 AOI 的 5 个父节点, 其中内容分割法的这一父节点的关系模型见图 3。最后, 进行核心编码, 选择核心范畴并分析核心范畴和其他范畴之间联系, 以典型关系结构的形式将整个行为现象表现出来, 见图 4。

对实验案例节点进行聚类分析, 选择“属性值相似”为聚类依据, Jaccard 为相似性度量, 24 个案例被分成 5 类, 结果见图 5。依据案例属性值统计分析, 得到与本研究相关的 2 个属性值 (材料类型和 AOI 划分个数) 形成的案例匹配图, 见图 6。从图 6 中可知, 当眼动实验的实验材料为平面设计产品或实体产品的二维图片时, AOI 的划分数量多为 2 或 3 个, 此时应用内容分割法划分 AOI 更为普遍和适宜。

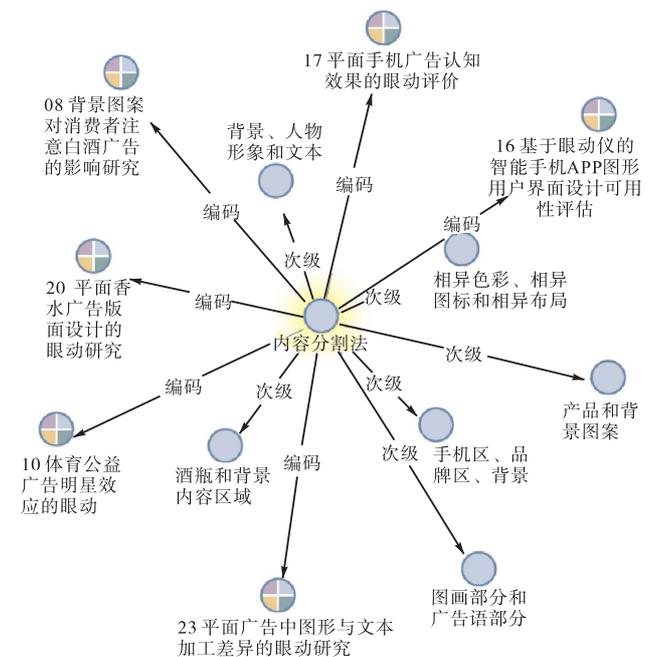


图3 内容分割法节点关系模型

Fig. 3 Node relation model of content segmentation

|  |                      |              |                        |                      |                  |
|--|----------------------|--------------|------------------------|----------------------|------------------|
| 形状分析法  |                      |              | 未划分AOI法                |                      | 实证研究法            |
| 隐含分区<br>四个象限                                   | 网页面积<br>九等分          | 周边区域<br>中心区域 | 面孔图片                   | 汽车设计<br>效果图          | 颜色属性<br>相同       |
| 阶层式布局<br>棋盘式布局                                 |                      |              | 八款方案                   | U3<br>界面<br>U4<br>界面 | 网站交互<br>设计要素     |
| 衣柜门板比例   | 五把座椅样本               |              | 九酷界面<br>酷我界面           |                      | 橱窗区域<br>商品区域     |
| 内容分割法  |                      |              | 时间节点法                  |                      | 任务流程法            |
| 酒瓶区域   | 手机区域<br>品牌区域<br>背景区域 | 图画区域<br>广告区域 | 自被试首次<br>接球            |                      | 典弄任务             |
| 图形区域<br>人物形象区域<br>文本区域<br>相异色彩<br>相异图标<br>相异布局 | 产品区域<br>背景区域         |              | 纯文本视视频<br>带字幕视频<br>纯视频 |                      | 任务相关区域<br>任务无关区域 |

图4 节点矩形结构图  
Fig. 4 Node rectangle

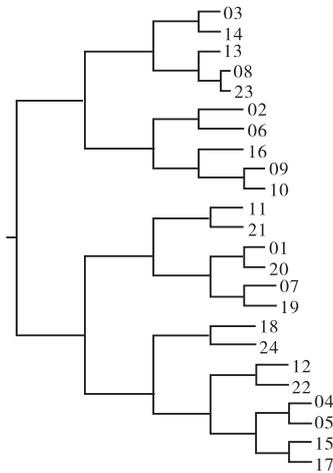


图5 案例节点聚类分析点图  
Fig. 5 Case node clustering analysis

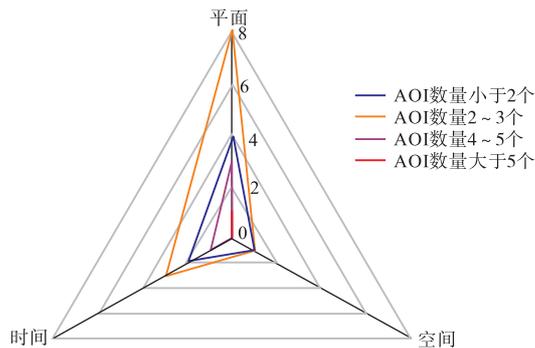


图6 依据属性值(材料类型, AOI 划分个数)匹配案例雷达图

Fig. 6 Match case radar map according to the attribute value (material type, AOI number of division)

### 3.2 现调机 AOI划分的量化

#### 3.2.1 眼动实验设计

(1)测试对象: 26 名在读研究生(男、女各半, 设计专业、非设计专业各半), 年龄 22~26 岁, 裸眼或矫正视力 1.0 以上, 均有使用现调机的经验, 但没有

参与过类似测试的经历。

(2)实验仪器: 使用 Tobii 公司生产 Tobii 60XL 型眼动仪进行眼动数据采集, 取样频率为 120 Hz, 显示屏大小为 19 英寸, 分辨率为 1 024 像素×768 像素。实验控制使用联想 S3 Yoga 笔记本电脑, 实验记录软件和数据处理软件均采用 ErgoLAB2.0, 数据分析使用 SPSS 20.0。

(3)实验材料: 根据企业提出的设计需求, 邀请 6 名工业设计专业人员每人设计 1 个方案, 用 Rhino 软件制作产品三维模型, 输出 6 张结构图(每张图包含主视、侧视两个视角), 并保持背景、材质、尺寸一致。

(4)实验流程: 将 6 张图片导入 ErgoLAB 实验软件, 为避免顺序效应, 设置 6 张结构图为随机自动放映模式, 每张图片停留时间为 20 s。在向测试对象说明实验和注意事项后, 安排他们依次进行实验前校准和正式实验。

#### 3.2.2 量化研究分析

通过 ErgoLAB 软件将所有被试的原始热点图(hot spot plot)拼合, 得到各个样本的综合热点图, 见图 7, 可以较直观地看出研究对象不同部位受关注程度。由图 7 可知, 前视图的中部和侧视图的右部被凝视的次数多且时间长, 因此结合质化研究结论, 采用内容分割法初步划分现调机眼动实验的 7 个 AOI: 主视图灯箱(主 1)、主视图挡水板(主 2)、主视图接水盘(主 3)、侧视图灯箱(侧 1)、侧视图挡水板(侧 2)、侧视图接水盘(侧 3)、侧视图侧面(侧 4)。以样本 1 作为具体划分说明, 见图 8。

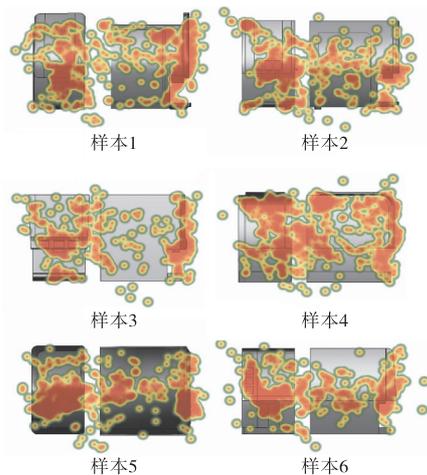


图7 不同样本的综合热点图  
Fig. 7 Hot map of integrated samples

选取与被试主观感受有显著关系的眼动指标: 首次进入时间(time to first fixation)、首次进入前注视点

个数 (fixation before)、首个注视点的注视时间 (first fixation duration)、注视点持续时间 (fixation duration)、注视时长总和 (total fixation duration)、注视时长百分比 (total fixation duration %)、注视点个数 (fixation count)、注视点个数百分比 (fixation count %)、访问次数 (visit count)、访问时间 (visit duration)、访问时间总和 (total visit duration)、访问时间百分比 (total visit duration%)。通过 SPSS 20.0 处理数据, 得到 26 名被试者在初步划分的 7 个 AOI 中的 11 个眼动指标均值, 见表 1。从首次进入时间均值可以得出, 用户最先关注的依次是主 1、侧 4、主 2、侧 1; 从访问时间总百分比可以得出, 用

户最感兴趣的依次是主 1、主 2、侧 4 和侧 2。

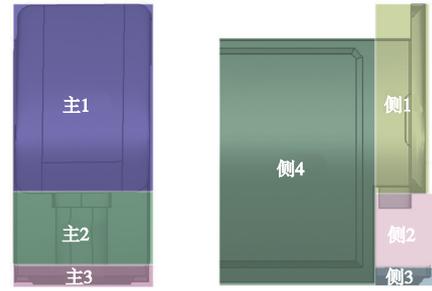


图 8 样本 1 的 AOI 初步划分图  
Fig. 8 AOI initial division of Sample 1

表 1 初步划分的 7 个 AOI 眼动指标均值

Tab. 1 Mean of 7 AOI eye-movement indicators by initial division

| 眼动指标           | 主 1   | 主 2   | 主 3  | 侧 1   | 侧 2   | 侧 3  | 侧 4   |
|----------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| 首次进入时间/s       | 1.58  | 2.84  | 6.61 | 3.83  | 3.99  | 7.00 | 1.83  |
| 首次进入前注视点个数     | 4.40  | 4.85  | 5.03 | 4.43  | 5.26  | 4.84 | 5.26  |
| 首个注视点的注视时间/s   | 0.52  | 0.60  | 0.45 | 0.64  | 0.81  | 0.37 | 0.41  |
| 注视点持续时间/s      | 0.57  | 0.66  | 0.42 | 0.63  | 0.81  | 0.37 | 0.44  |
| 注视时长总和/s       | 2.34  | 1.61  | 0.61 | 1.27  | 1.32  | 0.37 | 1.37  |
| 注视时长百分比/%      | 21.59 | 14.86 | 5.59 | 11.74 | 12.22 | 3.45 | 12.62 |
| 注视点个数          | 0.61  | 2.79  | 1.44 | 2.24  | 1.84  | 1.00 | 3.96  |
| 注视点个数百分比/%     | 29.66 | 17.49 | 9.55 | 14.56 | 11.62 | 5.99 | 23.78 |
| AOI 访问次数       | 2.81  | 2.25  | 1.18 | 1.78  | 1.71  | 1.00 | 3.12  |
| AOI 访问时间/s     | 1.19  | 1.02  | 0.68 | 0.96  | 1.02  | 0.49 | 0.68  |
| AOI 访问时间总和/s   | 2.92  | 2.12  | 0.82 | 1.57  | 1.56  | 0.49 | 1.82  |
| AOI 访问时间总百分比/% | 26.91 | 19.64 | 7.58 | 14.52 | 14.41 | 4.54 | 16.75 |

为了获得与现调机设计相关性高的 AOI, 并选取最具代表性的设计元件, 通过因子分析对初步划分的 7 个 AOI 进行分类, 用共性因子代替该因子组变量。因子分析前进行的因子分析条件检验结果见表 2, KOM 值为 0.721, 大于 0.7, Bartlett 球形度检验的 Sig. 值为 0, 表明可以对实验数据进行因子分析。采用主成分的抽取方法和最大方差的旋转法得到因子分析结果, 见表 3。其中有 2 个因子的特征值大于 1,

且劣迹方差贡献率达到 7 个变量的 55.977%, 能够反映变量的大部分信息, 因此确定提取 2 个因子。

表 2 KMO 和 Bartlett 检验

Tab. 2 KMO and Bartlett test

| Bartlett 的球形度检验 |    |         | 取样足够度 |
|-----------------|----|---------|-------|
| Sig.            | df | 近似卡方    |       |
| 0               | 21 | 152.121 | 0.721 |

表 3 解释的总方差

Tab. 3 Total variance explained

| 成分 | 初始特征值 |        |         | 提取平方和载入 |        |        | 旋转平方和载入 |        |        |
|----|-------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
|    | 合计    | 方差的/%  | 累积/%    | 合计      | 方差的/%  | 累积/%   | 合计      | 方差的/%  | 累积/%   |
| 1  | 2.551 | 36.450 | 36.450  | 2.551   | 36.450 | 36.450 | 2.434   | 34.770 | 34.770 |
| 2  | 1.367 | 19.527 | 55.977  | 1.367   | 19.527 | 55.977 | 1.484   | 21.207 | 55.977 |
| 3  | 0.897 | 12.808 | 68.785  |         |        |        |         |        |        |
| 4  | 0.659 | 9.414  | 78.199  |         |        |        |         |        |        |
| 5  | 0.547 | 7.807  | 86.006  |         |        |        |         |        |        |
| 6  | 0.522 | 7.462  | 93.469  |         |        |        |         |        |        |
| 7  | 0.457 | 6.531  | 100.000 |         |        |        |         |        |        |

选用 Kaiser 标准化的正交旋转法, 旋转在 3 次迭代后收敛, 结果见表 4。其中主成分 1 包含主 1、主

2、侧 1、侧 2 和侧 4; 主成分 2 包含侧 3 和主 3, 可知灯箱和接水盘应该作为现调机眼动实验的 AOI。

表4 旋转成分矩阵  
Tab.4 Component matrix

| AOI名称 | 成份1    | 成份2    |
|-------|--------|--------|
| 主1    | 0.768* | 0.094  |
| 主2    | 0.729* | 0.024  |
| 侧1    | 0.680* | 0.117  |
| 侧2    | 0.649* | 0.085  |
| 侧4    | 0.637* | -0.001 |
| 侧3    | 0.005  | 0.865* |
| 主3    | 0.150  | 0.840* |

注:\*为选定的主成分。

眼动实验是工业设计评价的重要方法,而眼动实验中的 AOI 确定是开展眼动实验的重要前提,因此基于顺序探究的 AOI 划分方法模型保障了 AOI 合理、准确地划分,为设计类眼动实验方法的完善发掘了新方向,也为设计师研究用户和产品提供了新思路。因此,对质化研究和量化研究进行综合解释得出:在设计类眼动实验中,当实验研究对象为二维或是三维素材的二维图时,应基于实验对象内容划分 AOI 个数 2~3 个为宜;在正式的现调机眼动实验中,应选择灯箱和接水盘为 AOI。

#### 4 结 语

通过对混合研究方法的范式、流程、类型的研究,提出基于顺序探究的 AOI 划分方法模型,将其应用于现调机眼动实验的 AOI 划分中,验证了该方法模型的可行性和适用性。在具体的现调机 AOI 划分中,质化研究部分应用扎根理论和 CAQDA 对 24 个工业设计眼动实验进行提炼、编码、分类和聚类,得出对于二维实验材料应根据材料内容将 AOI 个数设置 2~3 为最佳的结论,量化研究部分采用预先眼动实验方法,对现调机设计内容进行提炼,应用因子分析法确定灯箱和接水盘为正式的现调机眼动实验的 AOI,同时也可以将这两个因子理解为用户的关注点和设计师的改良点。

**致谢:**北京津发科技股份有限公司的“科研支持计划”为本项目研究开展提供了人机工程相关设备与技术支持,特此感谢!

#### 参考文献:

- [1] 原长弘,王瑞琪.用顺序混合方法研究构建验证管理理论探析[J].科研管理,2015,36(5):80-86.
- [2] Johnson R B, Onwuegbuzie A J. Mixed methods research: A research paradigm whose time has come[J]. Educational Researcher, 2004, 33(7): 14-26.
- [3] 陈丽君,郑雪.大学生问题发现过程的眼动研究[J].心理学报,2014,46(3):367-384.
- [4] 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.
- [5] 王宁,余隋怀,周宪,等.人机交互界面中形状特征的视觉显著度计算[J].图学学报,2016,37(4):514-518.
- [6] 蒋鹏.基于眼动研究的网站可用性测试[D].杭州:浙江工业大学,2015.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Blank C A. Handbook of Mixed Methods in Social and Behavioral Research[M]. Thousand Oaks, Calif: Sage Publications, 2002.
- [10] Creswell J W, Fetters M D, Ivankova N V. Designing a mixed methods study in primary care[J]. Annals of Family Medicine, 2004, 2(1): 7-12.
- [11] Malterud K. The art and science of clinical knowledge: Evidence beyond measures and numbers[J]. Lancet, 2001, 358(9279): 397-400.
- [12] Creswell J W. Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Traditions[M]. Thousand Oaks, Calif: Sage Publications, 2006.
- [13] 徐建中,曲小瑜.基于扎根理论的装备制造企业环境技术创新行为驱动因素的质化研究[J].管理评论,2014,26(10):90-101.

责任编辑:常涛