

车载信息系统界面图文设计及其视认知特性研究综述

支锦亦, 杜洋, 冯纾
(西南交通大学, 成都 611756)

摘要: **目的** 在智能化发展的大背景下, 以用户为中心的车载信息系统界面 (IVIS) 设计正在成为目前的研究重点。界面设计需要考虑与用户视觉搜索、视知觉及其认知有关的生理和心理因素, 设计人员通过优化用户界面以达到更为友好的用户体验。**方法** 进行文献搜集和整理, 分析驾驶界面布局和图文设计的研究现状, 从界面布局、元素编码对司机的视知觉与认知影响研究入手, 对相关研究成果进行综述。**结论** 分析界面设计对用户客观辨识效率和主观偏好的影响, 探讨了驾驶显示界面图文编码与布局类型、界面信息对司机视认知的影响研究现状。

关键词: 车载信息系统; 界面设计; 视知觉; 认知特性

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)10-0062-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.10.010

Review on the Graphic Design and Perceptual Characteristics of Automobile System Interface

ZHI Jin-yi, DU Yang, FENG Shu
(Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

ABSTRACT: In the context of intelligent development, the automobile display interface and user-centered design are becoming the current heated research. The physiological and psychological factors related to the user's visual search and behavior perception need to be considered in the interface design. The designer optimizes the interface for the more user-friendly experience. The literature review was conducted before the analysis of the current situation and progress of interface layout. The related research outcomes were summarized from the perspective of the correlation between interface layout, element coding, human perception and cognition. The influence of interface design on user's objective identification efficiency and subjective preference is analyzed, and the research situation of the effect of graphic coding and layout types of automobile display interface and interface information on user's visual cognition is demonstrated.

KEY WORDS: in-vehicle information system; interface design; visual perception; cognitive characteristics

随着信息技术与智能系统的发展, 车载信息系统 (In-vehicle Information System, IVIS) 被逐渐运用在交通工具领域。交通工具驾驶舱内部的人机交互界面由物理按键及物理仪表盘, 逐渐转向集成化数字显示界面^[1]。随着系统复杂程度与图形显示界面的增加, 驾驶员获取信息的方式与操作行为发生改变。此外, 随着向驾驶员提供的车内功能和服务激增, 交互界面已经成为车载信息系统交互设计师的一个重大

挑战, 关系到驾驶安全和驾驶行为。由于高速驾驶环境对人为能力的限制及隐藏的安全问题, 使得驾驶显示界面与操作员之间的交互协调程度, 成为了驾驶领域的重点研究内容。可视化界面是信息系统设计的重要组成部分, 其布局、文本和图形决定了用户进行相关功能操作的效率^[2]。目前驾驶显示界面的主要研究内容包含驾驶界面对用户的心理和生理影响机制、操作绩效、界面交互方式和人机界面数据库建立等方

收稿日期: 2020-04-12

基金项目: 教育部资助项目 (19YJA760094); 国家重点研发计划资助项目 (2017YFB1201103-09, 2017YFB1201103-10, 2017YFB1201103-11, 2017YFB1201103-12)

作者简介: 支锦亦 (1974—), 女, 四川人, 博士, 西南交通大学教授、博士生导师, 主要从事工业设计和车辆人因评价方面的研究。

面。本文着重梳理了不同驾驶显示界面布局类型及元素编码, 及其对用户搜索策略、识别效率、注意力和认知负荷影响的研究现状, 对于布局形式选择具有一定参考。

1 驾驶显示界面

1.1 显示模式类型

根据显示的模式特性, 可以将驾驶界面分为俯视显示器 (Head-down Display, HDD) 和平视显示器 (Head-up Display, HUD) [3] 等。俯视显示器位于车辆控制面板中, 是可触摸式人机交互界面, 首次使用时用户更易熟悉, 并且对驾驶员造成的精神压力较小, 是目前新能源汽车广为使用的显示控制方式。平视显示器一般结合增强现实 (Augmented Reality) 技术或混合现实技术, 将所需信息直接投影到驾驶员的视线中, 信息显示的媒介是前挡风玻璃及外部环境, 减少了驾驶员视线偏离道路的次数和持续时间。但使用 HUD 将在一定程度上增加驾驶员的精神负担, 对初次使用的用户具有一定难度, 可能需要事先进行培训和适应。如果驾驶员不熟悉 HUD, 将不会因使用 HUD 而改善驾驶 [4]。

Liu 等人调查了 HUD 和 HDD 对驾驶员的驾驶性能力和心理工作负荷等级的影响。驾驶员在获得相关的驾驶信息时大多会使用 (超过 90%) 他们的视野, 而在驾驶时阅读 HDD 的信息, 驾驶员必须将视线移开前方的道路, 对行车安全产生影响, 如果驾驶员的视线离开道路的时间超过 2 s, 交通事故的风险就大大增加。在操作任务方面, 两种显示方式之间没有显著差异, 如果信息显示的时间足够长, 则可以实现准确的信息同化。驾驶员对紧急情况相关信息的响应在高低负荷之间的反应时间有着明显的不同。在低负荷情况下, HUD 帮助驾驶员比 HDD 更快地对系统的警告和道路提示信息做出反应。当负载条件较高时, HUD 用户比 HDD 用户具有更长的反应时间。在驾驶行为方面, 使用 HUD 作为视觉显示的车载信息系统可以使驾驶员迅速捕捉信息, 同时注意相关的路边信息, 驾驶员从 HUD 接收信息的效率高于 HDD, 通过减少驾驶员的眼睛在显示器上的时间, 改善了车辆控制,

提高了驾驶的稳定性, 所以使用 HUD 时出现的“速度变化”和“对速度限制标志的响应”分别比使用 HDD 时要更低和更快。但是, 驾驶平均速度在使用 HUD 和 HDD 之间没有显著差异。同样, 在低负载道路上, 横向加速度变化和方向盘角度变化表现出比在高负载道路条件下更好的性能。驾驶员的驾驶行为 (即横向加速度和方向盘角度的变化) 及其反应时间会随着驾驶负荷的增加而恶化 [5]。

考虑到复杂的道路交通状况, 汽车驾驶员通常会看到快速变化的背景。因此, 环境中的物体可能会对需要将物体同时聚焦在视野中不同深度处的汽车 HUD 用户施加一些适应性的拉力。当驾驶员注意 HUD 上的信息时, 靠近 HUD 的物体将具有所谓的“收缩”效果, 即与 HUD 上显示的信息相比, 非常近距离的汽车或行人的大小会变小。这样, 驾驶员将高估他们之间的距离。在关注 HUD 信息的同时, 驾驶员往往会驶入拥挤的交通环境 [6]。

1.2 布局类型

界面布局设计讲究自然原则和有效原则, 即符合用户的视觉习惯和认知特性, 分层级的菜单可为用户提供清晰准确的指导。根据显示屏形状设计的常用车载任务信息表达形式有多种 [7-8], 一般布局整体结构有对称布局、顺序布局、模块化布局三种模式 [9-11], 见图 1。根据界面图文的排列方式的不同可形成界面原型, 一般有宫格式、线性列表、鱼眼式、轮盘式等形式, 见图 2 [8]。对称布局即信息元素在界面中呈现视觉平衡, 保持界面的基本对称; 顺序布局即注意信息间的逻辑关系, 固定对话和实施的先后顺序; 模块化布局即界面要素集成, 关联关系之间组合呈现, 不同信息分类显示, 按照人眼视觉习惯和信息重要程度布置。

宫格式布局主体采用图标呈现, 触摸图标会翻转屏幕以显示下一级的子功能, 并且父图标消失, 驱动程序单击返回图标以返回到父级。研究发现, 在 60 km/h 的低速状态下, 宫格布局需要更多的时间来翻转页面, 但页面布局简单, 显示清晰。在 60 km/h、80 km/h 的状态下, 由于视觉项目较少和精神负荷较低, 驾驶员犯下的错误较少, 很容易完成任务。分层

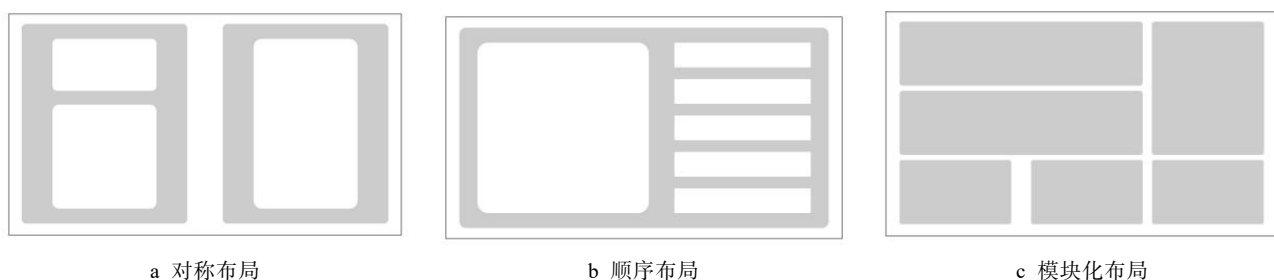


图 1 布局整体结构

Fig.1 Three layout overall structure patterns

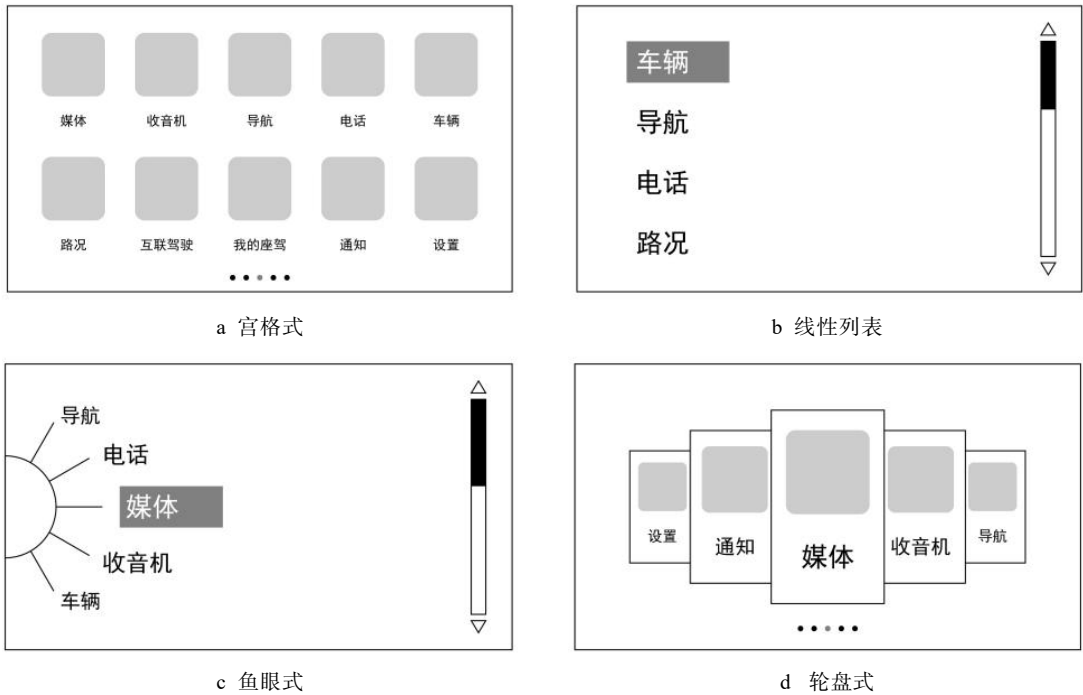


图 2 界面原型形式
Fig.2 Interface prototype form

界面触摸图标会在当前列右侧列出子功能，父图标保持在相同位置^[7]。

在线性列表布局中，信息按字母顺序依次纵向排布，并通过简单的线性可滚动列表呈现，列表是圆形的，可以沿任一方向滚动，被标为“经典”，是传统的通用格式。显示器右侧的状态栏旨在指示屏幕上显示了多少列表以及用户已滚动给定列表的距离。列表顶部的突出显示项目是用户按下主旋钮控件（未显示）或者再次点击屏幕时将选择的项目。研究发现，驾驶员在翻阅许多页面的过程中耗费了较多时间，三级菜单延长了驾驶员的触摸屏距离，对驾驶员的身体需求和心理负荷提出了要求，并会增加错误频率。在没有其他因素，如颜色、字体、图标设计的影响下，基于眼动分析研究两种布局的识别效率，发现线性列表适用于低速驾驶模式，宫格布局在高速模式下识别效率更高^[7]。

鱼眼式布局是将菜单的一部分显示为焦点，其余项目围绕焦点排列，逐渐缩小的菜单项位于焦点区域的上方和下方，通过拨动鱼眼滚轮或者旋转控件向上或向下滚动列表，与线性列表一样，状态栏位于显示屏的右侧，旨在为用户提供项目列表中的位置预计屏幕上显示了多少列表的信息。

轮盘图形使用 3D 隐喻显示图形信息，用户通过滑动页面或者旋转主旋转控件来滚动列表，列表可以顺时针或逆时针滚动，代表了当前流行的在界面上以图形呈现数据的方式。尽管布局形式多样，但从对驾驶影响来说，符合心理预期的确定的界面结构对驾驶的影响较小，而界面布局设计使用方面的潜在不确定

性，对驾驶主任务可能是不利的^[8]。

2 图文编码

视觉界面通常由一系列菜单、文字、图形等视觉元素构成，包括大小、形状、间距、颜色等元素属性。信息呈现的布局、文本和图形，会影响用户访问设备所需功能的效率和有效性。视觉界面的显示内容可通过文本单独表述，或者文本和图形结合的方式进行信息传达。

当前信息的多样化呈现方式已经成为影响作业者信息获取的一个重要因素。由于平面显示还缺少相应规范，一般界面设计形式采用模拟传统仪表显示的方式。方卫宁等人研究了列车车载智能显示终端人机交互界面的虚拟车载仪表系统，由于《CTCS_3 级列车车载设备人机界面（DMI）显示规范》限定了列车在十种状态下仪表不同元素的大小、位置和颜色的显示规则，如不规则指针尺寸、环形速度光带显示要求等，为符合铁路相关规范，从仿真的拟物化角度，对列车智能显示终端中复杂虚拟车载仪表的仿真实现方法进行了研究，提出了具有高度拟物化的虚拟车载仪表系统，可以提供速度信息、允许速度、目标速度、干预速度及开口速度等信息^[12]。

界面图标的隐喻通常来自真实物体的符号语义，显示的特征和属性类似于它们所表示的对象，是视觉传达中的有力元素。设计合理的图标可以减少系统的复杂性并减少工作量，比文字用户界面具有更好的认知能力。为了使图标的设计更有效，便于使用对象查

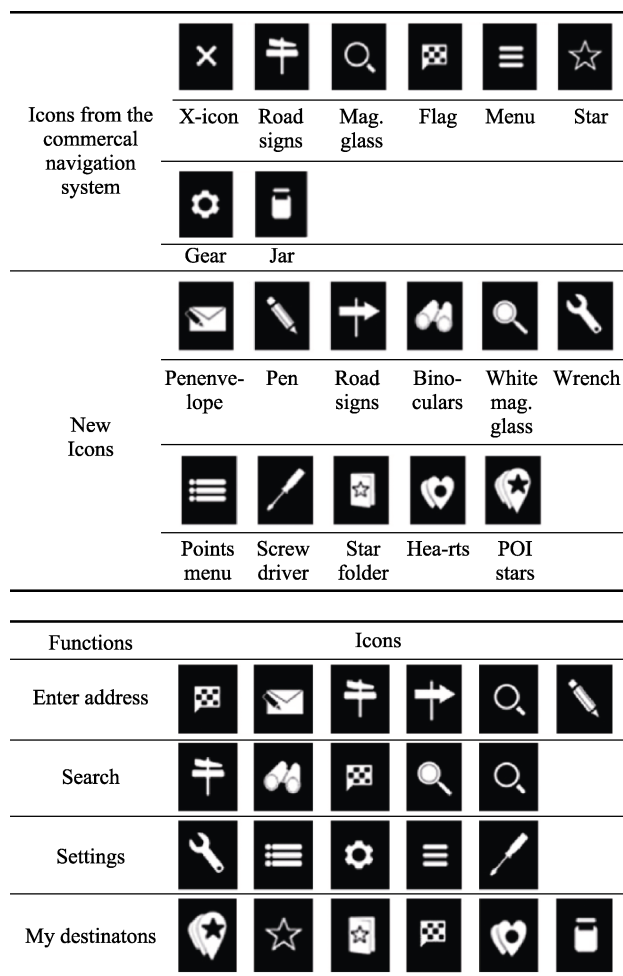


图 3 界面图标形式
Fig.3 Interface icon format

找、识别、记忆和学习，对于不同功能的表达应具有描述性和直观性，所以图标设计应该遵循通用性原则，以聚类的方式表示更广泛的类别，而不是确切的对象。利用图形符号来强调表示的最基本特征，以明确地传达含义。除以上原则外，还需要了解图标语义距离的认知处理流畅性，用户界面中的图标可能以不同的文化传达不同的语义信息，图标语义距离的本地化可以通过与主要产品进行比较来测试，以获得图标表示及其针对目标文化的预期功能之间最有效的语义距离。图标与相关功能的语义距离尽可能近，方便驾驶员能够在短暂的车内视线中找到并选择正确的功能，尽量保证驾驶时进行安全交互，减少驾驶时分散注意力的可能性。此外，也要考虑到视觉语言具有表达和识别上的模糊性，同时显示的图标数量、颜色信息、相似图形等均会对识别造成影响，这些与用户的行为心理模型相关^[13]。界面图标形式见图 3^[13]。

电子地图经常在开车时使用，为驾驶员提供所在位置的大致方向，路线规划，替代路线或附近的景点等信息。这时电子地图的功能不应该仅限于让驾驶员快速浏览。因此，电子地图需要以清晰、易读的方式传达转折点信息。电子地图的形式受多种因素影响，

如比例尺、3D 或 2D 形式、透视图角度等。电子地图在空间信息的精度和细节的包含方面也有所不同。电子地图的显示形式将影响任务的执行^[14]。由于电子地图需要支持许多认知任务，例如视觉搜索、位置评估和复杂的综合规划，所以必须选择适当的显示格式^[15]。电子导航地图应符合用户认知习惯，以提高对导航地图的满意度，并对导航地图和系统产生更积极的印象。Talía 等人对电子导航地图的美感和可用性进行了研究，对电子地图的三个显示属性（数据量、抽象程度和颜色模式）的美感及可用性感知关联性和客观可用性指标进行了评价。研究发现，易对比的颜色模式、适度的抽象、较少细节能产生较好的可用性评价。颜色可以用来标记，测量，代表或模仿现实，在信息处理过程中颜色的处理相对较早地进行，它们可以帮助用户记忆并促进有效心理模型的形成。色相和饱和度可以作为降低地图复杂性的过滤技术，色相和饱和度对于隔离视野而不是引起人们对以某种颜色呈现的对象的关注更为有益。如果使用得当，颜色可以成为提高信息显示效果的有力工具。适度的抽象也能提高可用性，可通过简化形状，删除不相关的形状细节来减少路段的数量；长度泛化，缩短或延长地图中道路的长度以增加可见性；角度泛化，收紧或打开角度以使外观更整洁等方法实现^[14]。限制显示器上的数据量是一种有用的设计策略，当从地图中提取信息以回答与位置相关的问题时，注意的焦点可能在地图内的特定信息领域，因此减少地图上的数据量（即对其进行整理）可能有助于提取信息^[16]。不属于传达信息所需最少视觉元素的其他视觉元素被称为“图表垃圾”，应避免使用。同样，Nielsen（1994 年）提出的界面评价的十种启发式方法之一是启发式的“少即是多”，他建议省略无关的信息、图形和不需要的特征^[17]。

然而，过于简化的图形也可能产生负面后果，例如降低驾驶员的情境意识（SA）^[18]；而过多的信息也可能对 SA 产生负面影响，因为减少驾驶员对路线和周围环境的注意等，使驾驶员失去了关注关键信息的能力^[19]。因此信息的表达方式一直是研究的热点问题。

3 界面信息对驾驶视认知的影响

界面的菜单布局为用户提供了各种信息和指导^[17,20]，确定最有效的界面布局是 IVIS 界面设计的核心。界面布局、色彩、图标、文字等视觉元素会影响人机界面的使用效率和用户体验。将交通信息进行图形化设计可以显著提高驾驶员的识别效率，“系统图标+简单文本”的形式可以有效传递各种驾驶信息功能，提高驾驶员的操作效率^[21]。图形用户界面可以提高驾驶员的满意度^[22]，并提高用户对系统图像的视觉和空间识别度^[23]。用户的视觉搜索应该准确地被引导至视觉目标，这个过程增加了对界面可读性的需求^[24]。车载信

息系统界面的设计应该充分考虑人类的认知特征,并从多个方面提供设计指导,让用户以满意和有效的方式完成人机界面操作任务,提升车载信息系统的人机工效与用户体验^[25]。

3.1 界面信息布局对视觉搜索的影响

1) 搜索模式。在驾驶过程中,司机对驾驶信息的获取渠道主要来源于用户在驾驶显示界面中的视觉搜索行为,界面信息的布局和内容会对视觉搜索路径产生一定影响。视觉搜索模式可分为序列搜索和平行搜索。当目标不存在属性突显时,发生序列搜索^[26-27]。序列搜索可以分为自行终止搜索、完全搜索、联合搜索三类。自行终止搜索:视线按照一定的规律进行搜索,当单一目标被发现时而终止搜索;完全搜索:当无目标或多目标时进行完全搜索,此时需要对所有的目标进行搜索,搜索时间随搜索项目呈线性递增关系;联合搜索:对同一属性下的多种不同表征目标中的某一种特定表征目标进行搜索,例如搜索多种颜色字符中的红色字符^[28]。在单一属性维度上对单一属性突显目标进行搜索时,发生平行搜索。可大面积扫视并快速发现目标,此类搜索需要的注意资源更少,受搜索对象数量影响较小,平行搜索比序列搜索更加高效^[28]。

2) 操作面板与图标。操作面板根据形状比例可分为正方形面板、横向长方形面板、纵向长方形面板、圆形面板。研究表明,操作面板的结构、方向会对人机交互过程的反应时间产生不同影响。研究发现,在正方形面板、横向长方形面板、纵向长方形面板、圆形面板这四类控制面板中,正方形操作面板的操作效率最高,其次是横向长方形操作面板,并且用户反映时间随面板横纵比例的加大而延长。研究发现分组图标的搜索效率高于不分组图标的搜索效率,干扰图形越多搜索时间越长,大图标的操作效率优于小图标^[29-31]。

3) 搜索效率。视觉搜索过程包含搜索、发现、判断、决策输出四个阶段^[32]。视觉搜索效率与搜索信息时间(扫视时间、搜索路径持续时间)和认知处理信息时间(目标注视时间)相关,量化搜索(识别)效率可判断人机界面信息布局的优劣^[33-34]。研究发现,在没有其他因素(颜色、字体、图标设计)的影响下,利用眼动分析结合任务完成时间、错误率、NASA-TLX和系统可用性量表(SUS)等测试分析,比较线性布局和宫格布局两种布局的识别效率,发现线性布局适用于低速驾驶模式,并且对认知负荷的影响更小,宫格布局在高速模式下识别效率更高。然而,司机对于各种视觉手动界面的操作,对驾驶安全均有一定影响,与界面的布局关联不大^[8]。

3.2 界面文字形式对识别效率的影响

1) 文本设计。驾驶显示界面中的内容符号主要由文本、数据和图形构成,文本和数据的显示方式、

图形符号的表现形式对视觉捕捉行为造成影响,识别效率也有所不同,文本信息显示策略(逐行或逐页)对扫视行为和次数产生影响,逐行滚动文本增加了视觉需求,视觉搜索效率明显低于逐页滚动^[35]。纯文本页面的行距和列距与搜索效率是倒U形曲线关系,搜索效率随行距和列距的增大呈现先增高后下降的趋势^[36]。文字和图形结合的动车组显控界面字符行距与识别效率之间呈非线性正相关关系,最小阈值为2 mm^[37-39]。日本汽车制造商协会也建议在车辆驾驶时屏幕内禁止显示超过三十一个文字^[40]。界面按钮数量对任务完成时间的影响呈线性相关,数量越多,时间越长^[41],按钮间距最小阈值为3 mm。

2) 数值表现形式。数据表现形式分为准确数值和模糊范围两种。准确数值适用于区间限速、时间、里程等司机需要直观获取的信息,模糊范围适用于当前速度、油量等随某些因素波动,区间范围比数值更具说明意义的信息,一般以仪表盘形式呈现。不同仪表盘量规表现形式(圆形、线性)、指示器(指针、条形图)、方向(水平、垂直)的视觉识别效率不同,水平仪表形状、指针指示器、水平方向显示的效率更高,但司机主观更喜欢圆形仪表^[42]。

3) 文字尺寸。在人因手册中,建议文字高度的计算公式为: $H = 0.0022D + 25.4(K_1 + K_2)$ 。其中: H 为目标高度(mm); D 为人眼与目标距离(mm); K_1 为照明关系系数,一般取值0.06、0.16、0.26; K_2 为目标与内容重要性相关系数,一般取值0,重要取值0.75^[43-44]。在列车驾驶界面一般选用6.5 mm和8 mm字符的文本^[45]。

4) 阅读速度。驾驶显示界面除对视觉搜索有影响外,对司机认知行为也具有较大影响。人因相关书籍中提到,人的正常识读速度约为430 ms一个字符,人在识读字符后做出简单反应操作平均耗时195 ms,因此人对字符的正常认知反应速度约为625 ms^[46-47]。人在阅读中的平均视觉凝视时长为200~300 ms^[48],按照信息处理模型中提出的平均反应时间公式计算,人的知觉系统和认知系统的总信息处理时间为75~370 ms^[49]。

3.3 界面图形对识别效率的影响

1) 图形符号设计。研究表明用户更容易对图形符号进行记忆与识别,图形符号能够降低界面复杂度并提升人机界面的信息传递性,图形符号比文本具有更广泛的识别度^[50]。以“图形+文本”组成的屏幕界面任务完成时间和正确率均优于“纯文本”和“纯图形”形式^[51]。图形表现形式可分为:图像相关、概念相关、半抽象、任意、缩写、单词、组合七类,其中图像的识别效率最高,单词的识别准确率最高,任意和组合图形的识别效率最低。ISO图标比非ISO的识别效率更高^[52],图形分组式呈现的搜索效率高于图形

分散式呈现^[53-55]。

2) 图标布局。除屏幕界面组成要素显示方式对视识别效率造成影响外, 界面要素的显示密度^[56-57]、元素间距^[58-59]、显示形状、色彩对比等均会影响视觉效率。驾驶界面按钮形状与任务完成时间是正相关关系, 按钮增大, 驾驶安全性和屏幕可用性增加^[60]。17.5 mm 是驾驶界面按钮优选尺寸。同时图形符号也与辨识率有关, 正方形的识别速度最快^[61], 三角形与矩形识别情况优于圆形^[43], 图形越大, 搜索效率越高^[62]。在对导航系统的研究中发现, 2D 和 3D 电子地图条件下的驾驶性能没有显著差异, 但使用 3D 电子地图发生的浏览行为比 2D 的更为频繁^[20]。

3) 图标识别。图标视觉表征可以提高功能表达的准确性, 图标语义距离可以提高认知加工流畅性, 增大图标之间的辨识度可以提高图标的识别效率^[13]。用户对于图标识别因素有以下几类, 图标间距和大小的影响^[13,14]、图像对比度和清晰度的影响^[15]、显示特性的影响^[16]、用户年龄的影响^[17]、用户文化和语言的影响^[18]及视觉敏锐度的影响^[19]。一般来说, 图标在间距、大小和清晰度方面的区分性与搜索效率相关。人体脑电生理进行研究发现, 视觉图像呈现 500 ms 时, 不论是否识别出刺激图像, 大脑都会有识别反应, 即当目标出现了 500 ms 时, 已满足视觉辨识的基本需求^[63]。在知觉记忆阶段, 刺激信息停留于记忆中约为 1 s 左右^[64], 当刺激呈现时间大于 1 s 时, 视觉集中于目标细节, 此时视见度提高速度缓慢^[65]。

4) 图形认知特性。界面图形的认知特征包括熟悉性、具体性、视觉复杂性、意义性和语义距离等, 这些特征对图形识别的有效性有一定影响^[13]。图形符号具有语义性, 使其能够快速、简洁地传达大量信息并可能跨越语言障碍, 降低认知负荷^[66]。对于图形, 降低复杂性, 增加独特性和准确表达功能, 可以提高识别与选择效率。经验丰富的用户能够更准确、更快地理解图形符号的功能^[67]。此外在界面适当的位置显示速度控制、时间控制和当前速度等信息, 可以使驾驶员迅速而充分地意识到驾驶任务情况, 关注任务完成情况^[68]。

3.4 色彩的视觉感知特性

1) 色彩设计。除界面布局、界面文字、界面图形外, 色彩也是驾驶显示界面的重要组成因素。色彩可以用来标记、测量、表现或模拟现实, 也可以用来活跃或装饰^[69]。在信息处理过程中, 颜色识别具有优先性, 利用颜色对比提高信息显示辨识度, 帮助用户记忆, 并有助于形成有效的心理模型。颜色的三个主要属性是色相、饱和度、明度。色相与实际颜色类别(即红色、黄色或蓝色)有关; 饱和度与颜色的鲜艳程度有关; 明度与颜色的明亮程度有关。由于有更多的色素沉着, 高饱和度的颜色比低饱和度的颜色更鲜艳和突出。色相是被研究得最多的颜色属性, 而饱和

度和明度则较少受到关注。Michalski 在研究中提到, 颜色具有预先加工机制, 对视觉搜索过程起着重要作用^[70]。颜色的预先注意属性很大程度上取决于分组模式, 颜色分组效应会影响目标的视觉搜索过程和选择速度、任务准确性, 两色和三色面板的操作效果明显优于单色面板, 较小颜色区域布局比的控制面板比较大颜色区域布局比的控制面板的操作效果更差^[71]。目标图形与周围环境的色彩差异会提高搜索效率, 对比度越高视觉搜索越快^[72-73], 但构成色彩增多在一定程度上会降低视觉搜索效率, 实验发现当目标图形为单色且与其他干扰图形颜色不一致时反应时间和反映正确率最优^[74]。低明度背景上的目标认知效率优于高明度背景^[75], 黑色背景的识别效率较优^[76], 前景色和背景色以“黄-黑”、“绿-黑”这两种方式组合时识别效率最佳^[77]。

2) 色彩感知特性。对于测试快速反应的识别验证性实验, 目标呈现时间应设为 200~1000 ms^[63,78]。当目标呈现时间在此区间时, 时间压力对于颜色、形状的视觉认知容量和认知速度均有显著影响, 视觉容量通道的接受能力最大值为八个颜色编码或六个形状编码, 当超出此范围时认知容量骤减为 2~3 个^[78]。颜色编码在时间压力 600 ms 时认知速度最快, 形状编码在时间压力 1000 ms 时认知速度最快, 在 1000 ms 以内的时间压力下, 颜色的认知容量和认知速度优于形状^[78]。目标呈现时间在 1000 ms 以上时, 形状和颜色的认知能力不受时间压力大小的影响^[79-81]。在界面警报信息显示中, 不同颜色的认知差异显著, 一级警报红色的司机平均反应时间为 2.8 s, 明显优于二级警报绿色和三级警报蓝色的平均决策时间 8 s, 随着预警紧迫性的增加, 司机平均决策时间和平均车速减小, 横向车辆偏移量增加, 说明更紧急的警告对驾驶员的决策行为产生更大影响^[82]。

4 结语

从研究和实验的关注焦点可以明显看出, 在设计驾驶显示界面时, 不同驾驶功能界面的布局要求不同, 但是关于差异化的原因及如何更加精准设计功能界面仍在研究当中。综上所述, 目前没有一套完整的界面设计指南来指导有关驾驶界面的设计流程。第二节中介绍的研究仅针对不同情况下的特定界面布局, 或某一元素编码提出改进意见。对于更广泛的基于不同用户群体特性制定适应性界面, 尚缺乏理论基础来推动未来的研究。由于不同用户群体之间存在认知特性、操作习惯上的差异, 所以未来应该关注个体特征差异如何影响驾驶界面元素及布局方式, 以此探究不同生理变量是否对特定人机界面设计元素有影响, 创建基于用户心理变量的普适性界面设计指南。正如过去数十年研究人员从研究单一元素编码逐渐转向更加人性化、开放性、体验性、尽责性和愉悦性的界面

适应性研究一样, 科学界现在应该努力将所有这些发现结合到可理解且一致的设计准则纲要中, 以确保适应性设计的未来发展。

参考文献:

- [1] 谭浩, 赵丹华, 赵江洪. 面向复杂交互情境的汽车人机界面设计研究[J]. 包装工程, 2012, 33(18): 26-30.
TAN Hao, ZHAO Dan-hua, ZHAO Jiang-hong. Research on Automotive Human Machine Interface Design Based on Complex Interaction Context[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(18): 26-30.
- [2] CHEN M S, LIN M C, WANG C C, et al. Using HCA and TOPSIS Approaches in Personal Digital Assistant Menu-Icon Interface Design[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2009, 39(5): 689-702.
- [3] SCHALL M C, RUSCH M L, LEE J D, et al. Augmented Reality Cues and Elderly Driver Hazard Perception[J]. Pubmed, 2013, 55(3).
- [4] HE J. Head-up Display for Pilots and Drivers[J]. Journal of Ergonomics, 2013(3): 120.
- [5] LIU Y C, WEN M H. Comparison of Head-up Display (HUD) Vs. Head-down Display (HDD): Driving Performance of Commercial Vehicle Operators in Taiwan[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2004, 61(5): 679-697.
- [6] LIU Y C. Effects of Using Head-up Display in Automobile Context on Attention Demand and Driving Performance[J]. Displays, 2003, 24(4-5): 157-165.
- [7] LI R, CHEN Y V, SHA C, et al. Effects of Interface Layout on the Usability of In-vehicle Information Systems and Driving Safety[J]. Displays, 2017(7), 49.
- [8] MITSOPOULOS R E, TROTTER M J, LENNÉ M G. Effects on Driving Performance of Interacting with an In-vehicle Music Player: a Comparison of Three Interface Layout Concepts for Information Presentation[J]. Applied Ergonomics, 2011, 42(4): 583-591.
- [9] 王建美, 罗卫东, 曹博, 等. 车载 HUD 的人机界面设计[J]. 自动化表, 2015, 36(7): 85-87.
WANG Jian-mei, LUO Wei-dong, CAO Bo, et al. Design of the Human-machine Interface for Automobile HUD[J]. Process Automation Instrumentation, 2015, 36(7): 85-87.
- [10] 曾庆抒, 赵江洪. 汽车导航平视显示的信息组织和视觉设计[J]. 装饰, 2014(8): 66-67.
ZENG Qing-shu, ZHAO Jiang-hong. The Information Organization and Visual Design of Automobile Navigation HUD[J]. Zhuangshi, 2014(8): 66-67.
- [11] 张剑. 车载 HUD 界面的信息架构与视觉设计[J]. 山东工艺美术学院学报, 2014(2): 41-46.
ZHANG Jian. Information Architecture and Visual Design of Vehicle HUD Interface[J]. Journal of Shandong University of Art and Design, 2014(2): 41-46.
- [12] 方卫宁, 王鹏. 车载仪表仿真的形态逼真度研究[J]. 北京交通大学学报, 2014, 38(4): 7-13.
FANG Wei-ning, WANG Peng. Research on the Shape Fidelity of Vehicle Instruments Simulation[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2014, 38(4): 7-13.
- [13] SILVENNOINEN J M, KUJALA T, JOKINEN J P P. Semantic Distance as a Critical Factor in Icon Design for In-Car Infotainment Systems[J]. Applied Ergonomics, 2017, 65: 369-381.
- [14] LAVIE T, ORON-GILAD T, MEYER J. Aesthetics and Usability of In-Vehicle Navigation Displays[J]. International Journal of Human Computer Studies, 2011, 69(1-2): 80-99.
- [15] LLANERAS R E, SINGER J P. In-vehicle Navigation Systems: Interface Characteristics and Industry Trends[J]. Training and Vehicle Design, 2003(5).
- [16] YEH M, WICKENS C D. Attentional Filtering in the Design of Electronic Map Displays: a Comparison of Color Coding, Intensity Coding, and Decluttering Techniques[J]. Human Factors, 2001, 43(4): 543-562.
- [17] NIELSEN J. Usability Inspection Methods[M]. New York: John Wiley & Sons, 1994.
- [18] ENDSLEY M R. Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement[C]. Santa Monica: Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting, Conference, 1988.
- [19] LESHED G, VELDEN T, RIEGER O, et al. In-car GPS Navigation: Engagement with and Disengagement from the Environment[C]. Florence: Proceedings of the CHI, 2008.
- [20] LIN C T, WU H C, CHIEN T Y. Effects of E-map Format and Sub-Windows on Driving Performance and Glance Behavior When Using an In-Vehicle Navigation System[J]. Ergon, 2010(40): 330-336.
- [21] KIM H, SONG H. Evaluation of the Safety and Usability of Touch Gestures in Operating In-Vehicle Information Systems with Visual Occlusion[J]. Ergonomics, 2014(45): 789-798.
- [22] COCKBURN A, MCKENZIE B. 3D or Not 3D? Evaluating the Effect of the Third Dimension in a Document Management System[C]. WA: Conference on Human Factors in Computing Systems, Seattle, 2001.
- [23] BROY V, ALTHOFF F, KLINKER G. IFLIP. A Metaphor for In-Vehicle Information Systems[C]. ACM: Working Conference on Advanced Visual Interfaces, 2006.
- [24] ZIEFLE M. Information Presentation in Small Screen Devices: the Trade-off between Visual Density and Menu Foresight[J]. Ergonomics, 2010(41): 719-730.
- [25] RYDSTRÖM A, BROSTRÖM R, BENGTSSON P. A Comparison of Two Contemporary Types of In-Car Multifunctional Interfaces[J]. Ergonomics, 2011(43): 507-514.
- [26] NEISSER, ULRIC. Decision-Time without Reaction-Time: Experiments in Visual Scanning[J]. The American Journal of Psychology, 1963, 76(3): 376.
- [27] STERNBERG S. High Speed Scanning in Human Memory[J]. Science, 1966, 153(6): 652-654.
- [28] 罗俊浩, 廖斌, 王泰鑫. VDT 搜索作业绩效影响因素及其测量方法研究进展[J]. 人类工效学, 2018, 24(1): 74-80.
LUO Jun-hao, LIAO Bin, WANG Tai-xin. Research Progress on Influencing Factors and Measurement Methods of VDT Search Performance[J]. Ergonomics, 2018, 24(1): 74-80.
- [29] GROBELNY J, KARWOWSKI W, DRURY C. Usability of Graphical Icons in the Design of Human-Computer

- Interfaces[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2005, 18(2): 167-182.
- [30] CHEN C H, CHIANG S Y. The Effects of Panel Arrangement on Search Performance[J]. *Displays*, 2011, 32(5): 254-260.
- [31] 宫勇, 杨颖, 张三元, 等. 图形面板布局特征对人机交互效率的影响[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2012, 24(9): 1145-1150.
- GONG Yong, YANG Ying, ZHANG San-yuan, et al. Effects of Graphical Panel Layout Characteristics on Human-Computer Interactive Efficiency[J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2012, 24(9): 1145-1150.
- [32] MEGAW E D, RICHARDSON J. Eye Movements and Industrial Inspection[J]. *Applied Ergonomics*, 1979, 10(3): 145-154.
- [33] 吴晓莉, 薛澄岐, Gedeon Tom, 等. 数字化监控任务界面中信息特征的视觉搜索实验[J]. *东南大学学报(自然科学版)*, 2018, 48(5): 807-814.
- WU Xiao-li, XUE Cheng-qi, Gedeon Tom, et al. Visual Search on Information Features on Digital Task Monitoring Interface[J]. *Journal of Southeast University (Natural Science Edition)*, 2018, 48(5): 807-814.
- [34] GOLDBERG J H, KOTVAL X P. Computer Interface Evaluation Using Eye Movements: Methods and Constructs[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1999, 24(6): 631-645.
- [35] HOFFMAN J D, LEE J D, MCGEHEE D V, et al. Visual Sampling of In-Vehicle Text Messages: Effects of Number of Lines, Page Presentation, and Message Control[J]. *Transportation Research Record*, 2005, 1937(1): 22-30.
- [36] 李静, 熊俊浩, 何丹, 等. 网页字符显示密度的识别效率与可靠性[J]. *工业工程与管理*, 2010, 15(5): 82-86.
- LI Jing, XIONG Jun-hao, HE Dan, et al. Recognition Efficiency and Reliability of Web Character Display Density[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2010, 15(5): 82-86.
- [37] LING J, SCHAIK P V. The Influence of Line Spacing and Text Alignment on Visual Search of Web Pages[J]. *Displays*, 2007, 28(2): 60-67.
- [38] WANG L, SATO H, RAU P L P, et al. Chinese Text Spacing on Mobile Phones for Senior Citizens[J]. *Educational Gerontology*, 2008, 35(1): 77-90.
- [39] 郭孜政, 李永建, 盛金根, 等. 动车组显控界面字符行距对司机识别效率的影响性研究[J]. *铁道学报*, 2012, 34(12): 31-34.
- GUO Zi-zheng, LI Yong-jian, SHENG Jin-gen, et al. Influence of Line Spacing of Characters on EMU Display and Control Interface on Recognition Efficiency[J]. *Journal of the China Railway Society*, 2012, 34(12): 31-34.
- [40] Japan Automobile Manufacturers Association. Guidelines for In-vehicle Display Systems Version 3.0[S]. Tokyo: Japan Automobile Manufacturers Association, 2004.
- [41] FENG F, LIU Y, CHEN Y. Effects of Quantity and Size of Buttons of In-Vehicle Touch Screen on Drivers' Eye Glance Behavior[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2018, 34(12): 1105-1118.
- [42] FRANÇOIS M, FORT A, CRAVE P, et al. Gauges Design for a Digital Instrument Cluster: Efficiency, Visual Capture, and Satisfaction Assessment for Truck Driving[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2019, 72: 290-297.
- [43] 庄达民, 王睿. 基于认知特性的目标辨认研究[J]. *北京航空航天大学学报*, 2003(11): 1051-1054.
- ZHUANG Da-min, WANG Rui. Research of Target Identification Based on Cognitive Characteristic[J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2003(11): 1051-1054.
- [44] SALVENDY G. Handbook of Human Factors[M]. America: Wiley Interscience Publication, 1984.
- [45] CRUNDALL E, LARGE D R, BURNETT G. A Driving Simulator Study to Explore the Effects of Text Size on the Visual Demand of In-Vehicle Displays[J]. *Displays*, 2016, 43: 23-29.
- [46] C D 威肯斯, J D 李, 刘乙力, 等. 人因工程学导论[M]. 第2版. 上海: 华东师范大学出版社, 2007.
- WICKENS C D, LI J D, LIU Yi-li, et al. An Introduction to Human Factors Engineering[M]. 2nd Edition. Shanghai: East China Normal University Press, 2007.
- [47] 朱祖详. 工业心理学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 2003.
- ZHU Zu-xiang. Industrial Psychology[M]. Hangzhou: Education Publishing House, 2003.
- [48] ROBERT L S, KIMBERLY M M, OTTO H M. 认知心理学[M]. 何华, 译. 南京: 江苏教育出版社, 2010.
- ROBERT L S, KIMBERLY M M, OTTO H M. Cognitive Psychology[M]. HE Hua, Translate. Nanjing: Jiangsu Education Press, 2003.
- [49] BOFF K R, KAUFMAN L, THOMAS J P. Handbook of Perception and Human Performance[C]. Spies International Symposium on Optical Science. International Society for Optics and Photonics, 1986.
- [50] HUANG S M, SHIEH K K, CHI C F. Factors Affecting the Design of Computer Icons[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2002, 29(4): 211-218.
- [51] WIEDENBECK S. The Use of Icons and Labels in an End User Application Program: an Empirical Study of Learning and Retention[J]. *Behaviour and Information Technology*, 1999, 18(2): 68-82.
- [52] CHI C F, DEWI R S. Matching Performance of Vehicle Icons in Graphical and Textual Formats[J]. *Applied Ergonomics*, 2014, 45(4): 904-916.
- [53] NIEMEL M, SAARINEN J. Visual Search for Grouped Versus Ungrouped Icons in a Computer Interface[J]. *Human Factors*, 2000, 42(4): 630-635.
- [54] MURATA A, FURUKAWA N. Relationships among Display Features, Eye Movement Characteristics, and Reaction Time in Visual Search[J]. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 2005, 47(3): 598-612.
- [55] MURATA A, TAKAHASHI Y, FURUKAWA N. Evaluation of Display Design Based on Human's Eye Movement[C]. Systems, Man and Cybernetics, 2002 IEEE International Conference on. IEEE, 2002.
- [56] BROOKE J B, DUNCAN K D. Effects of System Display Format on Performance in a Fault Location Task[J]. *Ergonomics*, 1981, 24(3): 175-189.
- [57] TULLIS T S. The Formatting of Alphanumeric Displays: a Review and Analysis[J]. *Human Factors*, 1983,

- 25(6): 657-682.
- [58] KRUK R S, MUTER P. Reading of Continuous Text on Video Screens[J]. Human Factors the Journal of the Human Factors & Ergonomics Society, 1984, 26(3): 339-345.
- [59] KOLERS P A, DUCHNICKY R L, FERGUSON D C. Eye Movement Measurement of Readability of CRT Displays[J]. Human Factors the Journal of the Human Factors & Ergonomics Society, 1981, 23(5): 517-527.
- [60] KIM H, KWON S, HEO J, et al. The Effect of Touch-Key Size on the Usability of In-Vehicle Information Systems and Driving Safety During Simulated Driving[J]. Applied Ergonomics, 2014, 45(3): 379-388.
- [61] TAO D, YUAN J, LIU S, et al. Effects of Button Design Characteristics on Performance and Perceptions of Touchscreen Use[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2018, 64: 59-68.
- [62] MICHALSKI R, GROBELNY J, KARWOWSKI W. The Effects of Graphical Interface Design Characteristics on Human-computer Interaction Task Efficiency[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2006, 36(11): 959-977.
- [63] 崔剑霞, 吴艳红, 刘艳芳. 短时记忆容量的重新思考[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2004(4): 676-682.
CUI Jian-xia, WU Yan-hong, LIU Yan-fang. Reconsideration of the Capacity Limits of Short-Term Memory[J]. Journal of Peking University (Natural Science Edition), 2004(4): 676-682.
- [64] 丁锦红, 张钦, 郭春彦. 眼睛运动如何与记忆相关?[J]. 心理科学进展, 2006(1): 1-6.
DING Jin-hong, ZHANG Qin, GUO Chun-yan. Do Eye Movements Involve Memory?[J]. Advances in Psychological Science, 2006(1): 1-6.
- [65] 郭伏, 钱省三. 人因工程学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
GUO Fu, QIAN Xing-san. Human Factors Engineering[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2005.
- [66] ISHERWOOD S J, MCDUGALL S J P, CURRY M B. Icon Identification in Context: the Changing Role of Icon Characteristics with User Experience[J]. Human Factors, 2007, 49(3): 465-476.
- [67] PASSINI S, STRAZZARI F, BORGHI A. Icon-function Relationship in Toolbar Icons[J]. Displays, 2008, 29(5): 521-525.
- [68] HAN X, PATTERSON P. The Effect of Information Availability in a User Interface (UI) on In-Vehicle Task Performance: a Pilot Study[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2017, 61: 131-141.
- [69] TUFTE E. Envisioning Information[M]. Cheshire: Graphics Press, 1990.
- [70] MICHALSKI R, GROBELNY J. The Role of Colour Preattentive Processing in Human-computer Interaction Task Efficiency: a Preliminary Study[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2008, 38(3-4): 321-332.
- [71] MICHALSKI R. The Influence of Color Grouping on Users' Visual Search Behavior and Preferences[J]. Displays, 2014, 35(4): 176-195.
- [72] HUANG K C. Effects of Computer Icons and Figure/Background Area Ratios and Color Combinations on Visual Search Performance on an LCD Monitor[J]. Displays, 2008, 29(3): 237-242.
- [73] BHATTACHARYYA D, CHOWDHURY B, CHATTERJEE T, et al. Selection of Character/Background Color Combinations for Onscreen Searching Tasks: an Eye Movement, Subjective and Performance Approach[J]. Displays, 2014, 35(3): 101-109.
- [74] 宫勇, 张三元, 沈法, 等. 色彩构成对图形符号视觉搜索效率的影响[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2016, 28(7): 1115-1120.
GONG Yong, ZHANG San-yuan, SHEN Fa, et al. Effect of Color Combination on Graphical Symbol Visual Search Efficiency[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2016, 28(7): 1115-1120.
- [75] 李晶, 薛澄岐. 基于视觉感知分层的数字界面颜色编码研究[J]. 机械工程学报, 2016, 52(24): 201-208.
LI Jing, XUE Cheng-qi. Color Encoding Research of Digital Display Interface Based on the Visual Perceptual Layering[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(24): 201-208.
- [76] 郭孜政, 李永建, 钟永祥, 等. 动车组人机控制界面背景色对识别效率的影响[J]. 中国铁道科学, 2011, 32(5): 104-107.
GUO Zi-zheng, LI Yong-jian, ZHONG Yong-xiang, et al. Effect of the Background Color in EMU Man-Machine Control Interface on Recognition Efficiency[J]. China Railway Science, 2011, 32(5): 104-107.
- [77] 郭孜政, 李永建, 马国忠, 等. 动车组控制界面色彩匹配对识别效率的影响[J]. 铁道学报, 2012, 34(2): 27-31.
GUO Zi-zheng, LI Yong-jian, MA Guo-zhong, et al. Influence of Color-matching of EMU Color Interface on Recognition Efficiency[J]. Journal of the China Railway Society, 2012, 34(2): 27-31.
- [78] 李晶, 薛澄岐, 王海燕, 等. 均衡时间压力的人机界面信息编码[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(7): 1022-1028.
LI Jing, XUE Cheng-qi, WANG Hai-yan, et al. Encoding Information of Human-Computer Interface for Equilibrium of Time Pressure[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2013, 25(7): 1022-1028.
- [79] 曾庆新, 庄达民, 马银香. 脑力负荷与目标辨认[J]. 航空学报, 2007(S1): 76-80.
ZENG Qing-xin, ZHUANG Da-min, MA Yin-xiang. Mental Workload and Target Identification[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2007(S1): 76-80.
- [80] 张磊, 庄达民, 颜吟雪. 飞机座舱显示界面编码方式[J]. 南京航空航天大学学报, 2009, 41(4): 466-469.
ZHANG Lei, ZHUANG Da-min, YAN Yin-xue. Encoding of Aircraft Cockpit Display Interface[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2009, 41(4): 466-469.
- [81] 范晓丽, 周前祥, 柳忠起, 等. 基于视觉搜索的飞机显示界面设计原则[J]. 北京航空航天大学学报, 2015, 41(2): 216-221.
FAN Xiao-li, ZHOU Qian-xiang, LIU Zhong-qi, et al. Principle of Plane Display Interface Design Based on Visual Search[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2015, 41(2): 216-221.
- [82] CUI W, ZHOU R, YAN Y, et al. Effect of Warning Levels on Drivers' Decision-Making with the Self-driving Vehicle System[C]. International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Springer, Cham, 2017.