

[高维信息界面数据可视化设计研究]

基于航线规划任务的无人机数字界面布局设计

张炎琪¹, 宫晓东^{1,2}, 胡建军³, 张静怡^{1,2}

1. 北京理工大学, 北京 100081; 2. 雷达人机工程联合创新实验室, 北京 100081; 3. 中国北方车辆研究所, 北京 100072

摘要: 视觉显示界面中的信息布局方式作为界面构成要素之一, 其设计会显著影响操作人员的判读绩效。以提高系统操作绩效为目的, 从视觉流程角度探讨远程操控无人机数字界面布局设计, 可为相关设计提供新的思路。研究针对某专业无人机数字界面进行界面功能模块构成解析, 以无人机航线规划任务为例, 以格式塔原则为指导, 进行基于任务操作流程的信息布局设计, 形成多个布局设计方案, 并比较被试在不同方案下的任务完成时间等绩效指标。发现不同方案下被试的视觉动线流程不同, 从而造成视线往复距离差异, 是影响工作绩效的因素之一。基于任务操作流程的无人机数字界面布局设计, 可将视觉动线流程、视线往复距离作为布局方案评价依据之一, 为改进无人机数字界面设计提供新的思路。

关键词: 无人机数字界面; 布局设计; 任务操作流程; 视觉动线; 工作绩效

中图分类号: J524

文献标识码: A

文章编号: 2096-6946(2020)06-0097-07

DOI: 10.19798/j.cnki.2096-6946.2020.06.012

Layout Design of UAV Digital Interface Based on Route Planning

ZHANG Yanqi¹, GONG Xiaodong^{1,2}, HU Jianjun³, ZHANG Jingyi^{1,2}

1. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 2. Radar Ergonomics Joint Innovation Laboratory, Beijing 100081, China; 3. China North Vehicle Research Institute, Beijing 100072, China

Abstract: The work aims to discuss the layout design of the digital interface of remotely operated UAV from the visual flow, so as to improve the system operation performance in view of that the information layout of visual display interface as one of interface composition elements can significantly affect the operator's interpretation performance. The function module composition of a professional UAV digital interface is analyzed. Taking the UAV route planning task as an example, the information layout design based on the task operation process is carried out under the guidance of Gestalt rules to form multiple layout design schemes, and the performance indicators such as the completion time of tasks under different schemes are compared. The visual dynamic flow of the operator under different schemes is different, resulting in the difference of the visual reciprocating distance, which is one of the factors affecting the work performance. In the layout design of UAV interface based on task operation process, visual dynamic flow and visual sight reciprocating distance can be used as one of the evaluation bases of the layout scheme, providing ideas for improving the design of UAV digital interface.

Key words: UAV digital interface; layout design; task operation process; visual dynamic flow; work performance

远程操控无人机系统数字交互界面是操作人员操控设备、获取无人机工作状态的主要途径, 界面通常需显示无人机飞行状态信息、通信状态信息、任务信息

等多个模块, 具有信息容量大且实时变化的特点, 是典型的复杂高维信息界面。随着各种专业远程无人机在农业、消防、军事等领域的应用日益广泛, 其数字操控

收稿日期: 2020-09-09

作者简介: 张炎琪(1995—), 女, 辽宁人, 北京理工大学硕士生, 主攻信息设计。

通信作者: 宫晓东(1969—), 女, 辽宁人, 北京理工大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为人因工程在设计中的应用。

界面的视觉设计对系统人机工效的影响引起广泛重视。信息界面设计的基本要素包括布局、图形与文本等,其表征方式会直接影响用户的视知觉和认知效率。

一、界面布局设计研究简述

布局,指陈设、布置,意指对事物的全面规划和安排^[1]。Dowland等人将界面布局定义为在一定的约束条件下,根据设计的目标将待布置的元素放在空间内,使得元素间互不干涉^[2]。在影响复杂信息界面可用性的众多因素中,由于布局决定了信息显示的位置方位、组织的复杂性、认知一致性等,布局的设计对界面信息具有认知引导性^[3],布局成为信息界面设计研究的重要议题。

现有的布局研究主要从界面设计可用性的不同角度展开,如Liu等人从认知负荷的角度探讨不同布局方案的评价与优化^[4];卞婷等人用生态界面理论对战斗机驾驶舱界面信息进行分析,运用眼动实验探讨界面布局的优劣和设计原则^[5]。牛亚峰等人则运用ERP等实验设备,采集面对不同布局方案时被试的脑电数据,以探讨运用电位参数对界面布局进行一致性和可用性评价的可行性^[6]等。此外,张娜^[7]、周蕾^[8]等人运用感性工学和图形学等知识,提出界面布局的平衡、比例、简洁和呼应四个美度因子和十二个美度指标,采用灰色关联分析法评价界面的美度等,从美学层面探讨布局设计的评价方法。

以上研究多从绩效或一些生理、心理指标等方面着手,将布局设计作为一个整体,通过主客观进行评价或探讨,但对布局如何影响用户的特定视觉行为层面的具体因素研究仍涉及较少。本文则尝试从具体的视觉动线流程角度探讨布局设计,具体方法是首先对某型远程操控无人机数字界面信息模块构成进行分析,

以航线规划任务为例,基于格式塔原则进行布局设计,得到三个布局方案,并以完成指定任务的方式进行绩效测试,再将测试结果与不同布局方案下的视觉动线流程进行关联性分析,探讨布局差异与视觉动线流程的关系,进而丰富布局设计研究的视角和成果。

二、关于视觉流程

研究表明,人眼由于构造的客观限制,不可能同时接收所有的视觉信息,而必须按照一定的流动顺序来进行运动并感知外部世界。这种运动有的是随意进行,有的却是主动进行的,并且他们的运动有规律可寻^[9]。同样地,在操作人员浏览界面时,视线会停留在感兴趣的地方,形成注视点,并从某一兴趣区流向另一兴趣区,视线流动形成的轨迹称为视觉流程^[10]。

从注视点的次序和排布规律来看,视觉流程主要包括单向视觉流程、复向视觉流程、导向视觉流程、焦点视觉流程和散点视觉流程五种^[11]。

1)单向视觉流程。单向视觉流程分为直线和曲线两种样式,在直线样式中包括横线、竖线和斜线,即视觉元素按水平、竖直和对角线方向排列。其注视点排布简单直观,通常数量为两个。曲线样式相对直线样式舒缓柔和,以曲线的形式传达信息,比如S形和C形,见图1。

2)复向视觉流程。复向视觉流程也称为反复或者重复视觉流程,其注视点以相同或相似的规律排布,引导操作人员反复浏览。复向视觉流程主要表现为折线样式,轨迹路径可概括为Z形、N形和F形,其注视点数量通常为4或者2的倍数。当注视点较多,视线多次反复延伸为“之”形,见图2。

3)导向视觉流程。导向视觉流程也称树形流,是通过诱导符号或明显的导向结构引导视觉轨迹方向,

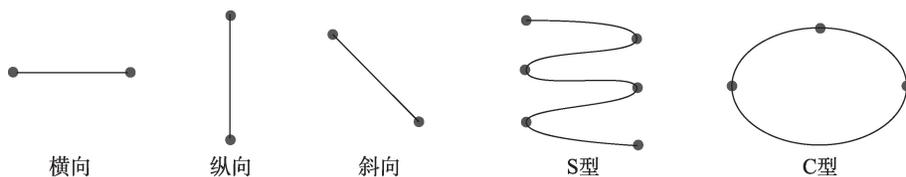


图1 单向视觉流程

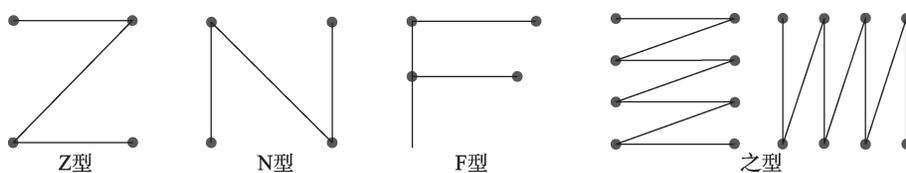
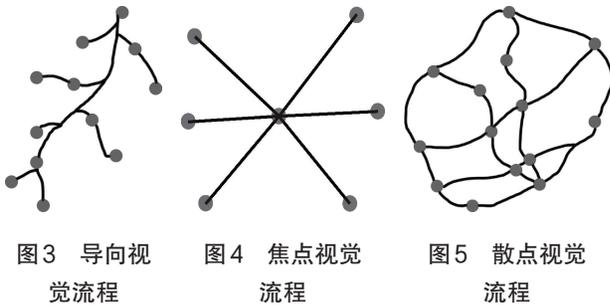


图2 复向视觉流程



使操作人员按导向目的进行先后顺序的浏览,比如符号导向、文字导向、手势导向、形象导向、图形导向或树形导视,是复杂化的单向视觉流程,见图3。

4)焦点视觉流程。焦点视觉流程的主注视点固定在某一点,并与其他方向的注视点呈放射状连线,因此也称为放射性视觉流程。视线通常表现为从中间向四周的向心或离心运动,强调突出中心,见图4。

5)散点视觉流程。散点视觉流程中每个注视点的排布没有指定的先后注视顺序之分,具有随机性和自主性。将所有分散的注视点连接起来为网状结构,逻辑性相比前几种类型较差,但是比较灵活、自由,见图5。

一般认为单向视觉流程、导向视觉流程的布局视点之间排布的逻辑性最优,视觉流动性最好,其次是复向视觉流程、焦点视觉流程,而散点视觉流程的情况相对最差^[2]。对于较复杂的数字操控系统,由于人机界面操作步骤较多,交互流程比较复杂,视觉流程很少会以单向视觉流动进行,所以单向视觉流程、导向视觉流程的情况并不多见,本文主要以复向视觉流程、焦点视觉流程两种情况的布局设计进行探讨。

三、无人机数字界面布局设计

(一) 无人机数字界面信息功能模块构成分析

无人机数字界面信息内容繁多,主要包括七个模块,分别为飞行状态功能模块、报警功能模块、任务规划功能模块、侦察功能模块、通信功能模块、设置功能模块、维护功能模块。每个模块的功能及具体内容: (1)飞行状态模块是对无人机飞行过程中的相关参数信息及飞行姿态进行显示和控制,具体包括速度、高度、续航里程、油量、经纬位置、航向信号、俯仰角、航偏角、滚转角等; (2)报警模块是指当无人机探测到所处环境及周围有危险时,会进行警告提示,具体包括报警详细内容、报警等级、报警时间,对报警信息筛选的操作等; (3)任务规划模块是操作人员对下发的任务和态势信息进行规划航路等,具体包括任务列表、任务详细信息、任务完成度、任务规划、路线方案、地图,操作按

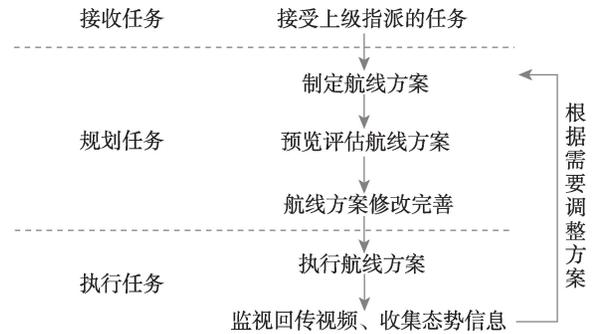


图6 航线规划任务流程

钮等; (4)侦察模块是对无人机携带的载荷、飞行平台信息和侦察后实时反馈的回传图像数据进行显示和控制,具体包括各种载荷传感器、传感器参数、工作模式、态势信息、回传图像、态势图等,可切换显示不同的载荷信息; (5)通信模块是对无人机的链路状态、信道和宽带等进行显示和控制,具体包括链路状态和参数设置等; (6)设置模块是对无人机硬件相关参数信息和设置,具体包括图传信息设置、手柄信息设置、校准信息设置、电池信息设置、高级信息设置等; (7)维护模块是对无人机故障的信息显示,一般在完成作业后进行检修,具体包括无人机自身零部件状态和设置等。

在无人机执行任务的情景下,这七个功能模块之间相互独立又相互关联,共同提供信息帮助操作人员感知和判断。

(二) 航线规划任务流程分析

航线规划任务是指根据任务区域的相关信息确定起航点和目标点,在明确飞行约束条件(比如外部环境和无人机系统)下进行无人机飞行航线规划,根据算法生成一条或多条可行航线,操作人员按照任务需求和实际情况选择最优的航线轨^[3]。执行航线规划任务是无人机操控的重要工作环节之一,涉及较多操作步骤,因此以任务为导向进行操作流程的梳理,将其分为接收任务、规划任务和执行任务三个阶段,具体操作流程见图6。

接收任务时,数字界面通过任务列表显示无人机接收到的全部上级任务,包括正在执行、未执行和已执行的任务;操作人员既可以统览任务的重要级别,也可以对未执行任务进行规划。

规划任务时,根据任务要求确定无人机的起航点、关键航点和终点,设置侦察设备的状态和参数,通过动态规划算法进行航线自动规划,生成不同特点的航线方案,操作人员可在界面上预览航线并人为调整部分航迹。

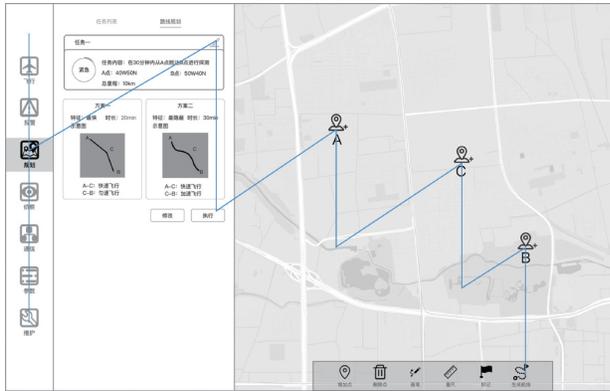


图7 布局方案一

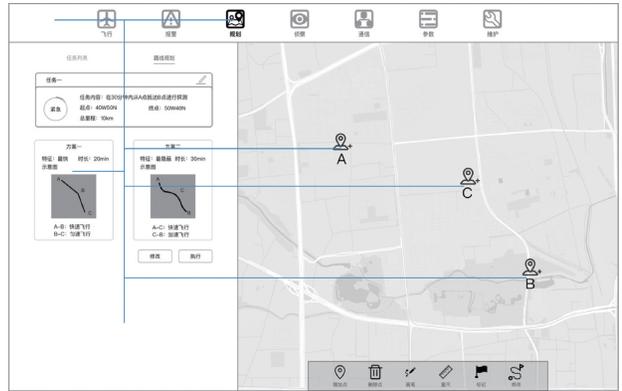


图8 布局方案二

执行任务时,无人机按照预定轨迹飞行,系统实时更新报警信息、航线轨迹变化、态势信息和回传图像。

操作人员可根据实际情况进行人为干预,调整航线以应对突发情况。

(三) 布局方案设计

1. 布局设计原则

德国格式塔学派的心理学家对视觉认知进行了系统的研究,提出了格式塔原则。视觉格式塔原则是形式关系的整体观念,强调人们的感知倾向于遵循简单性原则,将复杂的信息刺激分解组成较简单的群组^[14],具体体现为包括整体性、对称性、接近性、封闭性等在内的七个视知觉原则^[15-16]。

格式塔原则由于符合人的视觉认知特征,在界面设计中得到广泛应用。韩静华^[17]等人的研究结果表明,在用户界面设计中运用格式塔原则进行布局设计可以使用户更易查找信息,从而有助于提高操作人员的工作效率。本文以格式塔原则为基本设计指导原则,结合无人机航线规划任务的操作流程,对数字界面基于以下思路进行布局设计,并以此为基础探讨操作人员工作绩效与布局设计的关系。

1)按照功能相关性布局。例如,由于任务列表和任务规划两者是递进关系,都属于任务规划,所以放在同一区域内。关于航迹绘制,则将所有绘制相关功能放在一起,利于操作人员更方便使用。

2)按照任务流程布局。基于航线规划任务流程分析,按照操作步骤的顺序进行布局。例如,对任务进行规划后,航迹显示在态势图上,操作者根据需要有时会对迹点进行调整等编辑操作,因此将规划相关操作按钮与态势图放在一起,缩短视觉路径。

3)按照使用频率和重要程度布局。这是根据执行任务时功能模块使用的频率和使用的时长进行优先级

排序,将飞行模块、报警模块、规划模块、侦察模块、通信模块、参数模块、维护模块分级依次排列。

基于以上原则,将界面七个功能模块排布,设计出三种布局方案。

2. 布局设计方案说明

1)方案一见图7。采用左右型布局,将界面分为左右两个部分,左边为操作区,右边为态势图区,其中左边的操作区再细分为导航区、详细信息区。此方案的视觉流程近似为复向视觉流程中N形,具体表现为操作人员先竖向从上到下浏览导航区,找到规划后,再以对角的方向线向右浏览,通过这样的反复,将整个界面浏览完毕,通过视觉流程导向关键信息,传达给无人机操作人员准确的方向。此种布局方案操作人员视线的反复较少,纵向延伸距离相对较短。

2)方案二见图8。采用上下型布局,将界面细分为左T形,即导航区放在上部,详细信息区和态势图区符合左参数右视图的模式。此方案中采用复向视觉流程中的F形视觉流程,根据视觉轨迹特点,操作人员的视线流程为先横向浏览导航,注意到规划模块后,再纵向浏览信息详细区,发现重点信息规划后进行横向扫描,继续寻找下一个设置的视觉焦点,连接起来形成F形视觉流程。此种布局方案左右横向视线的往复距离较长,但注视详细信息区不会受到旁边导航信息的视觉干扰。

3)方案三见图9。采用口型布局,以态势图区为中心,将各功能模块均列出,并分布在态势图区的四周,通过对各模块和态势图的平行展示形式,使操作人员可以同时浏览多个信息,联动的操控效果让操作人员同时感知整体和局部的变化。此方案是较为典型的焦点视觉流程,即视觉先聚焦在中心,然后视线向四周扩散运动。此种布局方案的视线距离较短但往复次数最多。

四、实验设计及评估

(一) 实验方法

本次实验采用任务与绩效测量法,通过人机交互操作模拟无人机操作人员执行任务的情景,以任务完成时间和发生错误次数作为测量指标,对三个界面布局方案进行比较^[18]。

(二) 实验内容

为了规避其他因素对被试注意力的影响,凸显布局不同带来的视觉动线流程差异对于操作绩效的影响,实验采用 Axure 软件将航线规划任务相关界面制作成低保真全交互原型,使三个被测试方案之间仅存在布局之间的差异,以及由此带来的视觉流程动线的差异,从而可认为测试结果的不同是由于视觉流程的不同带来的影响。

测试采用分辨率为 1440×900 dpi 的屏幕。

实验中将航线规划任务简化划分为四个步骤,便于被试理解和记忆。实验任务详情如下。

步骤 1:观察导航区,找到并进入规划模块。

步骤 2:对任务列表里的任务一进行规划。

步骤 3:根据任务要求在地图上将 A 点设置为起航点,C 点设置为悬停点,B 点设置为终点。

步骤 4:选择生成航线,预览航线,并执行。



图9 布局方案三

选择十名年龄为 20~30 岁的被试参加实验,男女比例 4:1。被试对该型无人机操作有一定熟悉度,对航线规划任务流程比较了解,避免了因多次完成相同任务对后续方案测试绩效的影响。

被试要求视力或矫正视力正常,且均为右利手,处于精力充沛状态,以保证实验的准确度。

在实验前向被试说明此次实验模拟的场景、实验流程、需要完成的任务等注意事项后,即可以开始实验。

在正式实验中,被试以随机顺序先后在三个不同布局方案下完成航线规划任务。

任务由被试独立完成,组织者只负责计时,不给予任何语言提示,同时观察被试的操作轨迹、操作错误次数,到被试确认完成或主动放弃任务操作结束计时,记录任务完成时间。

(三) 实验结果分析及结论

在实验中观察并记录被试完成规划任务的每种布局方案操作路径,不同的方案,操作路径轨迹有一定差异,本文设定,在其他条件均相同仅布局有差异的情况下,视觉动线的轨迹近似于操作动线,见图 10。

经过计算求得方案一、方案二、方案三平均完成时间分别为 31.3 s、31.4 s、33.5 s,即 $t_1 < t_2 < t_3$,见表 1。

由于被试对操作流程熟悉,同时三个不同方案的表现方式已经排除了色彩、图文等信息表征的影响,不同方案之间的差异主要体现为操作时的视觉动线轨迹不同,由此可得出结论,视觉动线流程差异与操作绩效存在正相关关系,即视线往复距离的路径长度越短,所用的时间越少,三个方案中以方案一的视觉动线流程较短,完成任务平均所需时间较短,工作绩效最高。

五、结语

布局作为高维信息界面的设计要素之一,是影响界面设计,进而影响用户判读效率的重要因素。本文以某远程操控无人机的航线规划任务为例,在排除其他要素差异的前提下,将操作动线预设为视觉动线,将



图10 布局方案预设操作路径

表1 三个布局方案的完成时间和操作错误次数数据统计

被试	方案一		方案二		方案三	
	完成时间 (s)	错误次数 (次)	完成时间 (s)	错误次数 (次)	完成时间 (s)	错误次数 (次)
被试1	39.31	2	11.99	1	9.73	0
被试2	42.37	1	43.11	2	27.39	1
被试3	37.55	2	60.75	3	37.28	1
被试4	20.35	0	24.07	0	22.13	2
被试5	28.78	1	26.46	1	30.62	1
被试6	34.02	0	34.76	2	35.53	1
被试7	23.61	0	23.98	0	12.03	0
被试8	26.30	0	28.45	0	29.57	1
被试9	31.93	3	30.25	0	29.41	0
被试10	29.14	0	30.60	0	29.86	1

不同布局操作绩效的差异与视觉动线的不同联系在一起进行分析,初步提出了在界面布局方案设计中,视觉动线流程与操作绩效具有正相关性,可以作为评价参考指标之一,进一步细化和丰富界面设计的理论和评价研究。同时,由于视线在数字界面中不同信息点间流转,在设计中如果能通过合理的布局设计引导操作人员按照一定的路线和逻辑关注界面所要传达的信息,使视觉流程与操作流程相匹配,将有助于提高操作者的浏览效率。

研究不足在于虽然尽力排除其他干扰因素,预设操作路径近似作为视觉动线距离,并选择了对任务流程熟悉的被试进行实验,以期得到仅因为布局不同带来的视觉动线不同及对绩效的影响,但其中关于被试视线跳动轨迹的数据提取与分析仍待今后进一步分析、完善。

参考文献

- [1] 中国社会科学院语言研究所词典编辑室. 现代汉语词典第七版[M]. 北京:商务印书馆,2016.
Dictionary Office, Institute of Linguistics, Chinese Academy of Social Sciences. Contemporary Chinese Dictionary 7th Ed.[M]. Beijing: The Commercial Press, 2016.
- [2] DOWSLAND K A, DOWSLAND W B. Packing Problems [J]. European Journal of Operational Research, 1992, 56 (1):2-14.
- [3] 李晶,郁舒兰,刘玮. 基于眼动追踪的数控界面布局认知特性评价[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2017

(7):1334-1342.

LI Jing, YU Shulan, LIU Wei. Cognitive Characteristics Evaluation of CNC Interface Layout based on Eye Movement Tracking[J]. Journal of Computer- Aided Design and Graphics, 2017(7): 1334-1342.

- [4] LIU C J, LIN Y, TENG H, et al. An Experimental Study on Three General Interface Layout Designs for Chemical Process Plants[J]. Human Factors & Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 2015, 25 (4) : 500-514.
- [5] 卞婷,薛澄岐. 新一代战斗机显控界面布局设计研究[J]. 电子机械工程, 2011(4):57-61.
BIAN Ting, XUE Chengqi. Research on Layout Design of Display Control Interface of a New Generation Fighter [J]. Electronic and Mechanical Engineering, 2011 (4) : 57-61.
- [6] 牛亚峰,薛澄岐,彭宁玥,等. 基于ERP技术的数字界面布局认知与评估[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2016,46(3):470-475.
NIU Yafeng, XUE Chengqi, PENG Ningyue, et al. Cognition and Evaluation of Digital Interface Layouts Based on Event-related Potential Technique[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Ed.), 2016, 46(3) : 470-475.
- [7] 张娜,王家民,杨延璞. 人机界面形态元素布局设计美度意象的评价方法[J]. 机械科学与技术, 2015, 34(10): 1594-1598.
ZHANG Na, WANG Jiamin, YANG Yanpu. Evaluation Method of Aesthetic Image for Man-machine Interface Form Elements Layout Design[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2015, 34 (10): 1594-1598.
- [8] 周蕾,薛澄岐,汤文成,等. 界面元素布局设计的美度评价方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013(5): 758-766.
ZHOU Lei, XUE Chengqi, TANG Wencheng, et al. Beauty Evaluation Method for Interface Element Layout Design[J]. Journal of Computer- Aided Design and Graphics, 2013(5): 758-766.
- [9] 鲁道夫·阿恩海姆. 艺术与视知觉[M]. 滕守尧,译. 成都:四川人民出版社,1998.
ARNHEIM R. Art and Visual Perception[M]. TENG Shourao, Translate. Chengdu: Sichuan People Press, 1998.
- [10] 薛澄岐. 复杂信息系统人机交互数字界面设计方法及应用[M]. 南京:东南大学出版社,2015.

- XUE Chengqi. Design Method and Application of Human-Computer Interactive Digital Interface for Complex Information Systems[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2015.
- [11] 李湘媛. 网页版式设计的视觉流程分析[J]. 艺术教育, 2011(8):137-138.
LI Xiangyuan. Visual Flow Analysis of Web Page Layout Design[J]. Art Education, 2011(8):137-138.
- [12] MAĆKIEWICZ A, RATAJCZAK W. Towards a New Definition of Topological Accessibility[J]. Transportation Research Part B Methodological, 1996, 30(1):47-79.
- [13] 欧阳志宏, 李修和. 基于任务区分的无人机航路规划方法[J]. 弹箭与制导学报, 2017, 37(3):114-118.
OUYANG Zhihong, LI Xiuhe. Route Planning Method for UAV Based on Mission Differentiation[J]. Journal of Missile and Guidance, 2017, 37(3):114-118.
- [14] 陈超美. 科学前沿图谱: 知识可视化的探索(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
CHEN Chaomei. Mapping Scientific Frontiers: The Quest for Knowledge Visualization(2nd ed.)[M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [15] 董庆波. 视觉格式塔理论的设计思考[J]. 包装工程, 2011, 33(6):25-28.
DONG Qingbo. Design Thinking of Visual Gestalt Theory[J]. Packaging Engineering, 2011, 33(6):25-28.
- [16] 杨梅, 李航. 格式塔心理学知觉原理在扁平化设计中的应用[J]. 包装工程, 2019, 40(8):72-75.
YANG Mei, LI Hang. Application of Gestalt Psychology Visual Perception Principle in Flat Design[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(8):72-75.
- [17] 韩静华, 牛菁. 格式塔心理学在界面设计中的应用研究[J]. 包装工程, 2017, 38(8):108-111.
HAN Jinghua, NIU Jing. Application Research of Gestalt Psychology in Interface Design[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(8):108-111.
- [18] 易华辉, 宋笔锋, 王远达. 无人机操作员态势感知的实验研究[J]. 人类工效学, 2007, 13(3):10-13.
YI Huahui, SONG Bifeng, WANG Yuanda. Experimental Research on Situation Awareness of UAV Operator[J]. Chinese Journal of Ergonomic, 2007, 13(3):10-13.