飞机界面设计颜色匹配性

张 磊 庄达民

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100191)

摘 要: 针对飞机显示界面设计中存在的问题,开发了一个用于工效学实验的飞行信息显示界面仿真模型. 以该模型为背景开展实验,综合使用主观和客观测量方法对不同颜色匹配特性进行了研究. 以反应时间作为绩效评价指标,并利用模糊数学的方法对主观数据进行处理. 实验得到以下主要结果:确定了不同背景色和目标色匹配的辨识快慢顺序和喜好程度;不同颜色匹配的作业绩效和喜好程度不全相一致;白色/红色、棕色/黄色、暗灰/蓝色、黑色/淡绿、白色/蓝色较适宜作为背景/目标色组合,白色/黄色、黑色/蓝色则不适宜.

关 键 词: 人机工效; 颜色匹配; 界面设计; 模糊评价

中图分类号: TB 18; R 857. 1

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2009)08-1001-04

Colormatching of aircraft interface design

Zhang Lei Zhuang Damin

(School of Aeronautic Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: Aiming at the problems of aircraft display interface design, a simulation model of flight information display interface was developed for ergonomic experiment. Lots of experiments were taken based on this model. The integrated use of subjective and objective measurement method for different match color characteristic was studied. Reaction time was used as performance evaluation indictors and fuzzy math was used for subjective data processing. The following are the findings of the experiments: The order of space identification and the degree of preference under different color match were identified; the task performance under different color match and the degree of preference is incomplete. These colors, such as white/red, brown/yellow, dark gray/blue, black/light green, white/blue, would be appropriate for background/target color combination, and white/yellow, black/blue are not.

Key words: ergonomics; color matching; interface design; fuzzy evaluation

随着现代大型飞机性能的复杂化,飞行员面临的信息加工要求越来越高. 如何使飞行员快速、准确的接收信息成为飞机显示界面设计的重点[1]. 颜色是视觉工效学研究的一个重要方面,对显示信息进行合理的颜色匹配能够大大提高飞行员的辨识效率. 国内外学者对此给予了高度重视,并开展了相关方面的研究[2-7]. 但这些研究主要是针对CRT阴极射线管显示器,且所使用的刺激材料多是心理学领域中抽象的、没有实际意义的符号,缺乏相关的应用背景. 其所得出的结论是否适用于航空领域值得商榷.

本研究以自主开发的飞机信息显示界面模型为背景,综合使用主观和客观测量法在LCD液晶显示器上开展实验. 以反应时间作为客观评价指标,并利用模糊数学的方法对主观数据进行处理. 实验结果具有较高的效度和信度,得出的结论对飞机界面设计有参考价值.

1 实验方法

1.1 被 试

被试为32名北京航空航天大学具有相关航空知识背景的在校本科生和研究生(男24人,女

收稿日期: 2008-07-11

作者简介: 张 磊(1983-),男,河北邯郸人,博士生, zhangleibuaa@126. com.

8人),均未接触过同类实验.年龄在 21～24岁之间,无色盲、色弱,矫正视力在 1.0以上.

1.2 实验仪器和材料

客观实验程序用 C语言编写,使用 Visual C++6.0进行编译;主观实验程序使用 Visual Basic 6.0编写.作业信息采用 1 024 ×768像素分辨率.被试通过标准键盘等计算机硬件进行人机信息交互.

客观实验用的刺激材料如图 1所示:界面 1为仪表监视信息界面,界面 2为计算记忆信息界面,界面 3为雷达扫描搜索界面,界面 4为文字信息界面.主观实验用的刺激材料如图 2所示:页面大小为 34 mm ×48 mm,每幅页面的内容相同,背景色和目标色不同.实验选择的界面背景色为航空中最常见的黑色 (RGB (0, 0, 0))、暗灰 (RGB (211, 211, 211))、白色 (RGB (255, 255, 255))、棕色 (RGB (165, 42, 42));目标色为红色 (RGB (255, 255, 255))、蓝色 (RGB (0, 0, 255))、淡绿 (RGB (144, 238, 144))、黄色 (RGB (255, 255, 0)).其中黑色、棕色、红色、蓝色为低亮度颜色;暗灰、白色、淡绿、黄色为高亮度颜色.

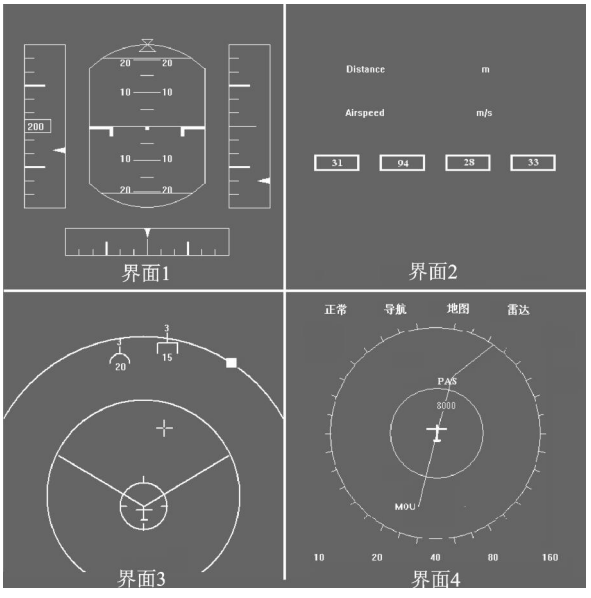

图 1 客观实验界面

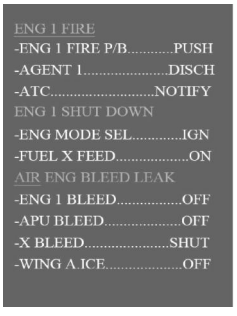

图 2 主观实验界面

1.3 实验设计

客观实验中,图 1中界面 1中的 3个刻度仪表的指针随机在粗实线内外出现,被试监视指针的位置,当发现指针偏离粗实线以外区域时按指定键;界面 2中呈现 4个数字,被试需要综合界面 4中的距离信息和界面 1中的速度信息,并对二者进行除法运算,发现计算结果在飞行信息界面呈现的 4个数字中时按指定键;界面 3中随机出现图形目标,当目标出现在雷达扫描扇形区时,被试按指定键表示确认;界面 4上出现 4个语意不同的文字信息,被试的任务是从中找出指定的目标文字,并按照其出现的位置按指定键.上述 4个界面的颜色匹配将影响作业反应时间.

主观实验中,制作 16(4 ×4)幅不同背景色和目标色组合的显示界面.对所形成的显示页面进行对偶比较实验设计,从其中抽出 2幅分别显示在液晶显示屏的左右两边,形成一个比较组,被试依据自己的喜好做出选择是哪一幅好,并按指定键.

1.4 实验程序

实验前对被试进行训练,使其了解实验过程、熟悉实验操作方法及实验要求.正式实验时,被试坐于距离显示器屏幕 600mm的座椅上,完成不同背景色的 4次客观实验和 4次主观实验.为消除练习效应和延续效应,实验顺序采用拉丁方设计.计算机自动记录被试对客观实验中目标辨识的反应时间和主观实验的选择结果.

2 结果及分析

2.1 客观实验结果及分析

被试对不同颜色匹配目标辨识的反应时间见图 3.当背景色为黑色时,不同目标色的辨识快慢顺序为:红色 >淡绿 >黄色 >蓝色,方差分析表明人对红色和淡绿目标的辨识显著快于蓝色目标 (P =0.005, 0.036);当背景色为暗灰时,不同目

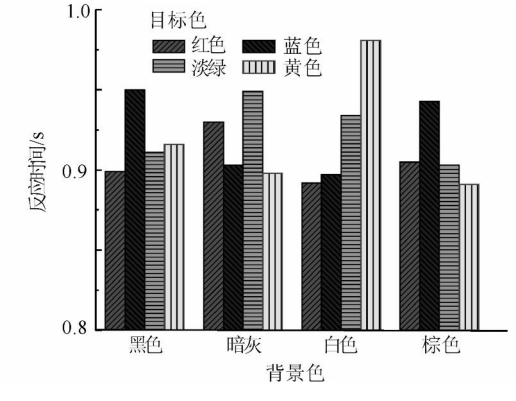

图 3 不同颜色匹配目标辨识的反应时间

标色的辨识顺序为:黄色 >蓝色 >红色 >淡绿,方差分析表明人对黄色和蓝色目标的辨识显著快于淡绿目标 ($P = 0.001, 0.014$);当背景色为白色时,不同目标色的辨识快慢顺序为:红色 >蓝色 >淡绿 >黄色,方差分析表明人对红色和蓝色目标的辨识显著快于淡绿和黄色目标 ($P = 0.005, 0.000; 0.021, 0.000$),人对淡绿目标的辨识显著快于黄色目标 ($P = 0.000$);当背景色为棕色时,不同目标色的辨识快慢顺序为:黄色 >淡绿 >红色 >蓝色,方差分析表明人对黄色和淡绿目标的辨识显著快于蓝色目标 ($P = 0.002, 0.014$).

当目标色为红色时,不同背景色的辨识快慢顺序为:白色 >黑色 >棕色 >暗灰,方差分析表明4种背景色之间差异不显著;当目标色为蓝色时,不同背景色的辨识快慢顺序为:白色 >暗灰 >棕色 >黑色,方差分析表明白色和暗灰背景显著快于黑色和棕色背景 ($P = 0.005, 0.005; 0.003, 0.032$);当目标色为淡绿时,不同背景色的辨识快慢顺序为:棕色 >黑色 >白色 >暗灰,方差分析表明棕色和黑色背景显著快于暗灰背景 ($P = 0.002, 0.000$);当目标色为黄色时,不同背景色的辨识快慢顺序为:棕色 >暗灰 >黑色 >白色,方差分析表明棕色、暗灰和黑色背景显著快于白色背景 ($P = 0.000, 0.001, 0.002$).

2.2　主观实验结果及分析

主观评价指标运用模糊数学的方法进行分析.考虑到实际问题的特性,采用择优比较法的二元对比排序处理实验数据[8].

设 $Q = \{q_1, q_2, \cdots, q_n\}$为被调查对象集, $X = \{x_1, x_2, \cdots, x_m\}$是论域, A 是设定的模糊集,待求隶属度为 $A(x_i)$, $i = 1, 2, \cdots, m$. 对任意一对 (x_s, x_k), $1 \le s \le k \le m$, $\forall q_j \in Q$,规定:

$$A(x_i, q_j) = \begin{cases} 1 & q_j \text{认为 } x_i \in A \\ 0 & q_j \text{认为 } x_i \notin A \end{cases} \quad (1)$$

$$A(x_s, q_j) + A(x_k, q_j) = 1 \quad (2)$$

若

$$\left.\begin{aligned} A(x_s, q_j) &= 1 \\ A(x_k, q_j) &= 0 \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

则

$$\left.\begin{aligned} f_{x_k}(x_s, q_j) &= 1 \\ f_{x_s}(x_k, q_j) &= 1 \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

综合起来可获得 n 个人两两比较总表,见表 1.

由式 (5)计算隶属度:

$$A(x_i) = \frac{\sum_{k=1, k\neq i}^{m}\left(\sum_{j=1}^{n} f_{x_k}(x_i, q_j)\right)}{\frac{1}{2}nm(m-1)} \quad i = 1, 2, \cdots, m \quad (5)$$

表 1　n个人两两比较总表

x_i	x_1	x_2	…	x_m
x_1		$\sum_{j=1}^{n} f_{x_2}(x_1, q_j)$	…	$\sum_{j=1}^{n} f_{x_m}(x_1, q_j)$
x_2	$\sum_{j=1}^{n} f_{x_1}(x_2, q_j)$		…	$\sum_{j=1}^{n} f_{x_m}(x_2, q_j)$
…	…	…	…	…
x_m	$\sum_{j=1}^{n} f_{x_1}(x_m, q_j)$	$\sum_{j=1}^{n} f_{x_2}(x_m, q_j)$	…	

现以黑色背景时被试对目标色的喜好程度为例,介绍主观实验数据的处理方法.

$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\} = \{$红色,蓝色,绿色,黄色$\}$

令 $A =$“颜色好”.根据择优比较法求出 X 中各元素对 A 的隶属度,则隶属度最大的颜色为最好. 32名被试参与了主观评价 (即 $n = 32$),依据被试的主观排序结果,将每名被试 X 中的 4个元素 (即 $m = 4$)按上述方法进行两两对比,结果见表 2.

表 2　黑色背景时目标色两两比较结果

x_i	x_1	x_2	x_3	x_4	求和
x_1		28	20	17	65
x_2	4		4	4	12
x_3	12	28		14	54
x_4	15	28	18		61

论域中各因素相对于 A 模糊集的隶属度:

$$A(x_1) = \frac{65}{\frac{1}{2} \times 32 \times 4 \times 3} = 0.3385$$

$$A(x_2) = 0.0625 \qquad A(x_3) = 0.2813$$

$$A(x_4) = 0.3177$$

按隶属度排序为

$$A(x_1) > A(x_4) > A(x_3) > A(x_2)$$

因此,可以认为 4种目标色的喜好程度排序为:红色 >黄色 >淡绿 >蓝色.

利用上述方法得出背景色确定时所选目标色的喜好程度 (表 3)和目标色确定时所选背景色的喜好程度 (表 4).

表 3　不同背景色所选目标色的喜好程度

背景色	目标色优先选择顺序
黑色	红色 >黄色 >淡绿 >蓝色
暗灰	红色 >蓝色 >淡绿 >黄色
白色	红色 >蓝色 >淡绿 >黄色
棕色	淡绿 >黄色 >蓝色 >红色

表 4 不同目标色所选背景色的喜好程度

目标色	背景色优先选择顺序
红色	白色 >黑色 >暗灰 >棕色
蓝色	白色 >暗灰 >棕色 >黑色
淡绿	棕色 =黑色 >暗灰 >白色
黄色	棕色 =黑色 >暗灰 >白色

3 讨 论

3.1 客观实验结果讨论

对客观实验结果的方差分析显示背景/目标色的匹配所产生的交互效应达到显著水平(P = 0.001),低亮度与高亮度颜色的匹配具有较高的作业绩效.这表明对目标的辨识绩效取决于背景/目标色以及亮度水平的具体匹配,与文献[3]结论一致.从图 3可知,白色/红色(P = 0.001)、棕色/黄色(P = 0.004)、暗灰/黄色(P = 0.026)、暗灰/蓝色(P = 0.010)、黑色/淡绿(P = 0.001)、白色/蓝色(P = 0.014)等色度相差较大的颜色适宜作为背景/目标色组合,白色/黄色、黑色/蓝色组合不适宜作为匹配颜色.

3.2 主客观实验结果对比分析

对主客观实验结果分析显示,被试对不同背景/目标色的匹配做出的主观评价与客观实验得出的结果并不完全一致.对比分析图 3、表 3和表 4可知,被试对暗灰/黄色组合的喜好程度较低,而暗灰/黄色组合的作业绩效却较高.这说明不同颜色匹配的作业绩效和喜好程度并不完全一致,与文献[9]得出的结论相同.这可能是由于在客观实验中被试需要对不停变化的目标进行判定,具有较大的脑力负荷;而在主观实验中被试仅仅根据颜色匹配的清晰程度和舒适程度做出感性的判别,脑力负荷较小.关于脑力负荷对颜色匹配的影响将在今后的研究中进行讨论.

4 结 论

本研究以飞机信息显示界面为背景,综合采用主客观方法对信息显示界面颜色匹配问题进行了研究,使实验结果具有较高的可靠性和较大的应用价值.实验得到以下主要结果:

1) 确定了不同背景色在不同目标色下的辨识快慢顺序和喜好程度;

2) 确定了不同目标色在不同背景色下的辨识快慢顺序和喜好程度;

3) 不同颜色匹配的作业绩效和喜好程度不完全一致,在选择颜色匹配方案时需要根据实际要求进行选择;

4) 白色/红色、棕色/黄色、暗灰/蓝色、黑色/淡绿、白色/蓝色较适宜作为背景/目标色组合,白色/黄色、黑色/蓝色则不适宜.

本研究仅对几种颜色匹配性进行了分析,更多颜色的匹配特性可以利用同样的实验方法得出.

参考文献 (References)

[1] 郭小朝,刘宝善,马雪松,等. 歼击机座舱通用显示信息及其优先级的确定[J]. 中华航空航天医学杂志, 2006, 17(4): 260 - 263
Guo Xiaochao, Liu Baoshan, Ma Xuesong, et al. General information of display and its priority for advanced fighter cockpit [J]. Chinese Journal of Aerospace Medicine, 2006, 17(4): 260 - 263 (in Chinese)

[2] 张德乾,张智君,仰和芝. VDT界面颜色视觉工效:色调因素对视觉绩效的影响[J]. 心理科学, 2008, 31(2): 328 - 331
Zhang Deqian, Zhang Zhijun, Yang Hezhi. Visual performance of color contrast on VDT [J]. Psychological Science, 2008, 31(2): 328 - 331 (in Chinese)

[3] David F. The detection of various color combinations under different chromatic ambient illuminations [J]. Aviation Space and Environmental Medicine, 1986(6): 550 - 580

[4] 曾庆新,庄达民,马银香. 人机界面中目标编码设计[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(6): 631 - 634
Zeng Qingxin, Zhuang Damin, Ma Yinxiang. Design of target code in human-machine interface [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007, 33(6): 631 - 634 (in Chinese)

[5] 曾庆新,庄达民. 多界面多任务下不同任务权重的目标辨认[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(5): 499 - 502
Zeng Qingxin, Zhuang Damin. Target identification of different task weight under multi-interface and multi-task [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2006, 32(5): 499 - 502 (in Chinese)

[6] Osaka N. The effect of VDT color on visual fatigue in the fovea and periphery of the visual field [J]. Display, 1985(7): 138 - 140

[7] Rupp B A. An overview of standards and guidelines for visual display terminals [J]. Applied Ergonomics, 1984, 15(3): 185 - 196

[8] 胡宝清. 模糊理论基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004
Hu Baoqing. Fuzzy theory [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2004 (in Chinese)

[9] Andre A D, Wickens C D. When users want what's not best for them: a review of performance-preference dissociations[J]. Ergonomics in Design, 1995(10): 10 - 13

(责任编辑:赵海容)