

中文引用格式:吴晓莉,贺雨琦,刘潇,等. 核电界面相似性感知及视觉认知绩效实验研究[J]. 中国安全科学学报, 2026, 36(3): 17-24.

英文引用格式:WU Xiaoli, HE Yuqi, LIU Xiao, et al. Experimental study on similarity perception and visual cognitive performance of nuclear power plant interfaces[J]. China Safety Science Journal, 2026, 36(3): 17-24.

核电界面相似性感知及视觉认知绩效实验研究^{*}

吴晓莉¹教授,贺雨琦¹,刘潇¹,黄永强¹,张学刚²工程师,李逸群¹

(1 南京理工大学 设计艺术与传媒学院,江苏 南京 210094;

2 中广核工程有限公司 核电安全技术与装备全国重点实验室,广东 深圳 518172)

中图分类号:X945;TM623

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2026.03.0569

基金项目:国家自然科学基金面上项目资助(52175469);核电安全技术与装备全国重点实验室开放课题(SK1-2025-WT-05)。

【摘要】 为预防核电界面相似性引发的操作失误,应用语义差异量表和情境任务实验,研究界面相似性对认知绩效的影响,并确定相似性感知维度。首先,通过文献综述,形成界面相似性的多维感知特征体系,并筛选出适用于工业控制场景的10个关键相似性变量;然后,采用语义差异问卷调查与多元线性回归分析,建立经归一化处理的核电界面整体感知相似性计算方程;最后,以核电规程任务和报警处理任务中的典型界面为实验对象,围绕颜色、布局结构与复杂性3个特征维度构建不同相似度水平的界面材料,结合主观问卷与情景任务实验测量分析最佳相似值范围。结果表明:界面相似性对操纵员认知反应具有显著影响;颜色、布局结构与复杂性是核心感知维度;当界面相似值处于“一般相似”区间(4~6)时,操纵员认知绩效最优。

【关键词】 核电界面; 界面相似性; 认知绩效; 视觉搜索; 情景任务实验

Experimental study on similarity perception and visual cognitive performance of nuclear power plant interfaces

WU Xiaoli¹, HE Yuqi¹, LIU Xiao¹, HUANG Yongqiang¹, ZHANG Xuegang², LI Yiqun¹

(1 School of Design, Art and Media, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210094, China; 2 State Key Laboratory of Nuclear Power Safety Technology and Equipment, China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518172, China)

Abstract: To prevent interface similarity-induced errors in nuclear power plants, this study investigated the impact of interface similarity on cognitive performance and identified the optimal similarity range using semantic differential scale and scenario-based experiments. Firstly, a multi-dimensional perceptual feature system for interface similarity was developed through literature review, and 10 key similarity variables applicable to industrial control scenarios were identified. Secondly, a normalized equation for estimating the overall perceived similarity of nuclear power interfaces was established using semantic differential questionnaire survey and multiple linear regression analysis. Finally, typical interfaces from nuclear

procedure tasks and alarm handling tasks were selected as experimental materials. Interface samples with varying levels of similarity were constructed based on three feature dimensions: color, layout structure, and complexity. Subjective questionnaires and scenario-based task experiments were conducted to measure and analyze the optimal range of similarity. The results indicate that interface similarity has a significant impact on operators' cognitive responses, with color, layout, and complexity as core dimensions. Cognitive performance is optimal when the interface similarity falls within the "generally similar" range (4-6).

Keywords: nuclear power interface; interface similarity; cognitive performance; visual search; scenario-based task experiment

0 引言

核电界面是操纵员监控任务的主要目标,承载各类集成信息,具有特定语义。因功能关联、布局相似或视觉表征一致,同一监测任务中的界面常呈现视觉相似性。适度相似性可统一系统风格、提升界面协调性与操作熟悉度;但相似度过高时,可能阻碍操纵员对信息含义的快速准确识别,增加认知负荷,引发误判、延迟甚至操作失误^[1]。因此,界面相似性对于核电系统的认知负荷、识别准确性与操纵绩效有着显著影响,有必要开展核电界面相似性研究以明确最佳相似度边界。

已有学者将视觉搜索中的界面相似性引入界面设计优化。如 ZHANG Ying 等^[2]研究了瓦斯抽放监控系统警告界面中的多目标视觉搜索相似性效应,提出基于此效应的界面优化设计方案。吴晓莉等^[3]以图形相似性的数量、类型、尺寸等 6 个特征设计核电数据图符的拓扑结构,并开展心理学行为实验,结果表明:不同数据图符形状编码突显方式对视觉搜索绩效存在显著影响。HE Yuqi 等^[1]聚焦于核电人机界面,探讨图符相似性偏差对双目标视觉搜索的影响。研究发现,高相似性图符可显著提升搜索效率,熟悉度主要改善低至中等相似度图符的识别表现,且相较于语义相似性,增强感知相似性更能有效提升搜索绩效。NAVARRE 等^[4]指出,冗余特征界面设计需保持交互逻辑相似性以避免操作错误。现有研究为界面相似性提供了理论基础,但多聚焦图形或局部特征度量,缺乏界面多维特征相似性对认知绩效影响的研究,复杂核电监控场景下,多维相似度调整与操作绩效优化的实证路径及阈值量化仍存在空白。

鉴于此,笔者拟通过文献综述提炼核电界面相似感知的核心维度及具体特征项,并选取典型监控系统界面样本,借助语义差异量表建立整体相似性方程;设计不同相似度试验材料,通过情景任务实验

识别绩效显著差异的相似性区间,以期预防操纵员操作失误、提升工作效率。

1 界面相似性维度和特征分析

界面相似性的认知判断涉及整体感知与局部特征识别 2 个层面,其认知机制可从心理学与图形感知理论加以剖析。

在感知维度上,MCDOUGALL 等^[5]认为,形状知觉受复杂性、熟悉性、语义距离、具体性与明确性等因素影响。吴晓莉等^[6]基于视觉感知强度理论,建立系统界面的视觉感知强度模型。SKOGEN^[7]强调,信息的抽象程度与复杂程度对图标认知的重要性。陈晓皎等^[8]从设计质量角度提出情感吸引力、认知负荷、交互效率等维度,并构建相应评估指标体系。因此,界面信息的认知路径可分为 2 类:①视觉符号认知,涵盖图标、标识、文字等;②视觉模式认知,包括布局结构与交互方式等。

在视觉特征层面,图形相似性主要反映拓扑结构、几何形状与表达功能。韩振华等^[9]认为,图的相似属性可分为组成部分相似和整体结构相似 2 个方面。谭建荣等^[10]将图形特征归为 6 类,如元素类型、邻接关系与连接方式等,并据此划分为拓扑相似、几何相似与几何约束相似。尽管目前针对界面相似性特征的研究尚不系统,陆炎凯^[11]提出界面可从设计组件、视觉色彩、信息动态呈现、布局方式与信息流组织等方面建模。

综合以上文献基础,界面相似性可归纳为 3 大核心感知维度:整体感知特性、视觉模式认知、视觉符号认知。视觉符号层,核电界面颜色、图标等组件按行业规范高度统一;视觉模式层,核电监控界面以流程驱动,布局、信息流为相似性关键变量;整体感知层,操纵员相似性感知依托视觉线索与任务流程,复杂性、密集性体现结构逻辑,熟悉性反映经验驱动的识别路径。

结合核电工控界面任务特性筛选相似性变量:

操纵员高度熟悉界面,故剔除熟悉性;剔除与界面层次重合的层次性、无区分意义的交互方式,界面方向特征归入图符、文字变量,文段、导航归为控件变量。综上,筛选后保留 10 个具有代表性且可操作的相似性感知特征变量:复杂性 T_1 、密集性 T_2 、层次性 T_3 、布局结构 T_4 、信息流 T_5 、文字 T_6 、颜色 T_7 、尺寸 T_8 、图符 T_9 、控件 T_{10} 。

2 界面整体相似性模型

为探究 10 个界面感知特征对整体相似性的影响关系,选取 A 核电监测界面、B 其他电气行业监测界面(火电)和 C 工控监测界面(航空)进行同主题的两两比较(不同主题间设计风格和-content 差异大,相似性比较意义不大),从整体维度和各特征维度进行差异问卷调查,通过回归分析得出引起相似性认知的感知特性权重模型。

选取每个主题监测界面中的典型画面各 4 幅,4 张界面两两组合进行比较,设为变量 $x、y$,由此构成的对比项目 $S = \{Z_{ixjy} \mid i = j = A, B, C; x = 1, 2, 3, 4; y = 1, 2, 3, 4; x \neq y\}$,做完一次问卷需要比较 $3C_4^2 = 18$ 对界面,每对界面进行 11 项比较(整体相似性 T_0 和 10 个相似性感知特征)。邀请工控行业专家 8 名(均为本科及以上学历,平均从业年限 6.5 年,年龄范围 35~50 岁)、核电操纵员 25 名(均为本科及以上学历,平均从业年限 5.2 年,年龄范围 27~41 岁),以及设计相关专业学生 45 名(本科及硕士在读,具有人机界面设计基础知识,年龄范围 21~30 岁)参与 7 级量表的语义差异问卷调查(开展问卷前简要介绍界面),设置差异值为 1—7(1 代表 2 个界面的比较项差异非常大,7 代表 2 个界面比较项基本一样)。

采用软件 SPSS 分析 78 份问卷数据的相关性,获取整体相似性和各相似性特征之间的显著相关性。皮尔逊相关性分析结果表明:整体相似度 T_0 与相似性特征 $T_x(x = 1, 2, \dots, 10)$ 均显著相关($P < 0.01$),且皮尔逊相关性指数处于 0.10~0.64,相关性差距不强。因此,采用简单的相关性分析不能进一步得出有效结论。

为进一步探索相似性特征指标对整体相似性的权重影响,采用多元线性回归分析,以界面整体相似性得分为因变量,10 个相似性特征为自变量进行多元线性回归分析。拟合情况显示拟合优度 R^2 为 0.688,自变量对因变量的解释度为 68.8%,德宾-沃森系数为 1.875,样本独立性通过,因此,分析结

果具有较好解释意义。具体结果显示, $T_1、T_4$ 和 T_7 的 P 值小于 0.001,其余特征变量均大于 0.05,因此,界面复杂性、布局结构和颜色 3 个相似性特征对整体相似性得分具有显著影响,且方差因子值均小于 5,说明 3 个相似性特征与其他特征无共线关系。

根据非标准化系数,将界面整体相似性的多元线性回归模型表示为:

$$T_0 = -0.603 + 0.298T_7 + 0.424T_4 + 0.212T_1$$

(1)

式(1)选取 $T_7、T_4$ 和 T_1 这 3 个感知特性为指标。由于 $T_0 \in [0.28, 6.10]$,取值范围不便于量化感知相似程度,因此,将其归一化处理为 T'_0 :

$$T'_0 = 0.487T_7 + 0.694T_4 + 0.347T_1 - 1.012$$

(2)

式(2)中 $T_x = 1, 2, \dots, 7$,整体相似值归一化得分 $T'_0 \in (0.43, 10)$,设定整体相似程度为 5 个量级,划分标准见表 1。

表 1 主观测量界面整体相似程度的界定范围

Table 1 Scope for defining overall degree of similarity of subjective measurement interfaces

相似度等级	主观相似值范围 T'_0	相似程度描述
I	(0.43~2)	极不相似
II	[2~4)	不相似
III	[4~6)	一般相似
IV	[6~8)	相似
V	[8~10)	极相似

3 基于情景任务范式的界面相似性感知实验

3.1 实验材料与方法

为进一步分析整体界面相似值的最佳范围,以现有的核电系统界面为基础进行不同整体相似性的界面设计。由于不确定最佳相似值的大概范围,因此,按照 5 个相似度等级设计 5 套核电界面,最佳相似值范围即在这 5 个相似值中的某 2 个相似值之间。

对这 5 套界面的 3 个感知特性进行相似性量化设定:

1) 1)在界面颜色设定上,为避免语义干扰,统一选用无特定含义的偏暗色系。根据相关法规和设计准则,从暗灰色系的红橙黄绿蓝紫灰 7 种颜色中选取 3 种作为标准参考色值,通过调整主色数量控制颜色相似度,主色数量越多,色彩构成越复杂,相似度越低。参考常用设计规范中主色大多为 3 种,

因此,将其设为"一般相似"实验画组的主色数量,极相似组主色数量为1,极不相似组为7。

2) 在布局结构设定上,结合核电监控系统和B端界面常见的界面设计,归纳出7种典型布局结构(如T字型、工字型、网格型等)。根据布局种类数量衡量界面结构相似度,常见画组中布局组合为3种,设为一般相似组。相似度越低,布局差异越大、种类越多,极相似组为1种布局,极不相似组为7种布局。

3) 界面复杂性参考信息熵模型进行量化,采用SHANNON^[12]提出、COMBER^[13]改进的界面复杂性计算公式,其中, N 表示界面中所有组件的数目, n 表示组件的种类, $P_i\left(\frac{n_i}{n}\right)$ 表示第*i*类组件出现的概率。将公式简化为以 P_i 为单变量的公式,当 $P_i < \frac{1}{e}$ (e 为自然常数,即假定每一类组件出现概率相同, $n > 3$,此时 $P_i = 1/n < 1/e$)时,界面复杂度 C 随 N 、 n 的增大而增大。在绝大多数的核电监控界面中,组件种类 n 均超过3种,因此,可知核电组块的复杂性随组件数目 N 、组件种类 n 的增大而增大。通过画组调研和观察,将核电画组中最常见的8种组件种类、26个组件数量设定为“一般复杂”界面,并根据实际任务情况由此作为中间值均等向两极扩展,见表2。将常见的3种复杂度作为一般相似画组的复杂度数量,越不相似的实验画组之间复杂性变化越大,复杂度数量越多,极相似组的复杂度数量为1,极不相似组为5。

$$C = -N \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \tag{3}$$

$$y = -P_i \log_2 P_i \tag{4}$$

表 2 实验界面的复杂度设定

Table 2 Complexity settings of experimental interfaces

复杂度	很复杂	较复杂	一般	较不复杂	很不复杂
组件种类	12	10	8	6	4
组件数量	42	34	26	18	10

5组实验界面在颜色、布局结构与复杂度3个维度的相似性设定结果见表3。

表 3 实验界面的三维度相似性设定

Table 3 Three-dimensional similarity settings for experimental interfaces

画面相似性	极不相似	不相似	一般	相似	极相似
主颜色/种	7	5	3	2	1
布局结构/种	7	5	3	2	1
复杂度/种	5	4	3	2	1

实验采取情景任务范式,属于被试内单因素行为实验,自变量为5个界面相似度等级,因变量为任务耗时、错误点击次数(包含提示次数)、实验后系统可用量表(System Usability Scale, SUS)。选取核电系统中5个简化任务作为信息素材,涉及的任务类型为报警处理和规程操作2种。这2类的界面跳转及操作逻辑类似如图1所示,均通过鼠标点击画面进行操作,被试先需要从画面集合中找到系统主画面,再从主画面中跳转2次来到报警卡/操作单(图1左);随后按照5个具体指示,跳转至相应操作画面以完成5次关于图符的视觉搜索(图1中),其中,2次需要在找到指定图符后进入操作窗口(图1右),进行进一步搜索/操作;完成所有操作后返回至系统主画面。

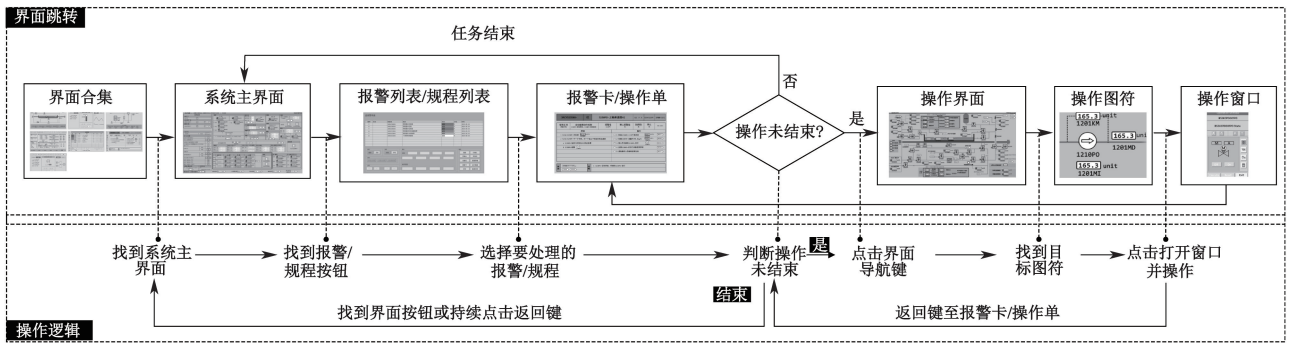


图 1 界面跳转及操作逻辑

Fig. 1 Interface navigation and operation interaction logic

设置5个任务的操作形式和点击次数相同,最终5套实验界面设计(表4),每个简化任务均有7个画面,表5中,仅列举3个画面的3个相似纬度)。将这5套画面从颜色、布局结构和复杂性3个维度,进行

第 2 节的 7 量级两两比较差异问卷调查(邀请 20 个相关从业人员和学生分 3 组题目进行,1—7 分别代表差异非常大—基本一样),3 个维度数值算得平均值后代入式(2),得到每套界面相似值,见表 5,由表 5 可知:5 组界面在相似性数值上分布较为均匀,基本满足实验需要。

表 4 5 套不同相似度的实验界面(示例)

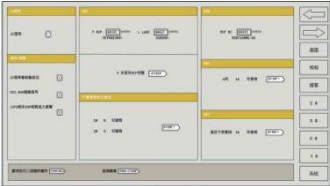
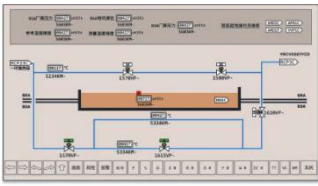
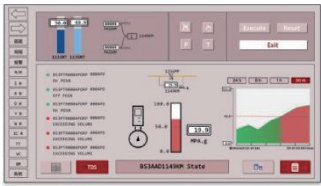
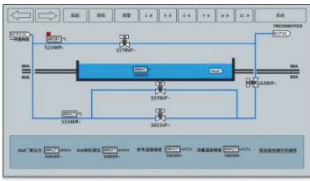
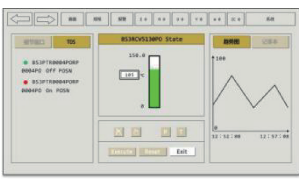
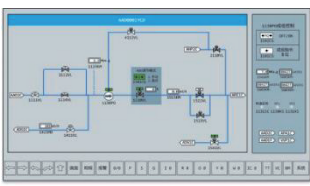
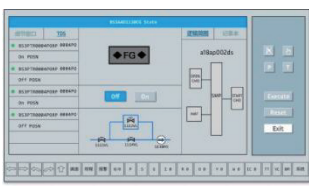
相似性	系统主画面	操作界面 1	操作窗口 1
极不相似	 黄/倒 L 字型/很不复杂	 橙/工字型分栏/一般复杂	 红/L 字型分栏/较复杂
一般相似	 蓝/工字型分栏+表格/较复杂	 蓝/工字型分栏/较不复杂	 黄/L 字型分栏/较不复杂
极相似	 蓝/表格布局/一般复杂	 蓝/表格布局/一般复杂	 蓝/表格布局/一般复杂

表 5 5 套实验界面的相似维度均分

相似维度得分	极不相似	不相似	一般相似	相似	极相似
T_1	3.533	3.362	4.457	4.800	5.743
T_4	2.638	3.029	3.543	3.971	5.657
T_7	1.971	2.514	3.162	4.086	6.771
T_0'	3.021	3.517	4.624	5.538	8.483

3.2 情景任务范式实验设备及被试

核电画组情景任务实验场景如图 2 所示,实验在模拟核电厂控制室环境中进行,实验室温度维持在约 23 ℃,光照明亮且稳定,背景噪声保持在 50 dB 以下,以模拟核电控制室安静但非完全无噪声的工况,实验设备为 17 英寸(43.2 cm)、分辨率为 1 280×1 024 的显示器。实验界面通过 Figma 原型设计软件绘制,并在该平台上实现代码编写和画面跳转,后台记录实验过程中的错误点击次数和任务总时长。研究共招募 27 名被试,其中,包括接受过核电系统

知识培训的专业工程师 12 名(全部为本科及以上学历,平均从业年限为 5.8 年,标准差为 2.1),以及核电相关专业或设计专业在读学生 15 名(本科生 4 名、硕士研究生 11 名)。被试整体年龄范围为 20~40 岁,平均年龄为 29.7 岁(标准差为 4.5),其中,工程师组年龄范围为 26~40 岁,学生组年龄范围为 20~28 岁。所有被试视力或矫正视力正常,且均具备完成实验任务所需的基本计算机操作技能。

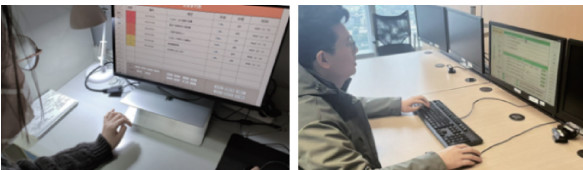


图 2 核电画组情景任务实验场景
Fig.2 Experimental scenes of nuclear power interface group scenario task

3.3 情景任务实验流程

实验流程如图 3 所示,整体流程共分为 4 个阶段,总耗时 50 min。实验准备阶段中,被试需要熟悉

实验设备和实验背景、目的等基本信息。正式实验开始前,被试需经过 10 min 的培训以熟悉核电界面跳转逻辑,随后通过 2~3 次练习实验熟悉操作及问

卷内容,确保正式实验的流畅性和数据可靠性。正式实验需被试完成 5 次不同相似度的情景任务,每次任务后填写主观问卷,共计耗时 25 min。

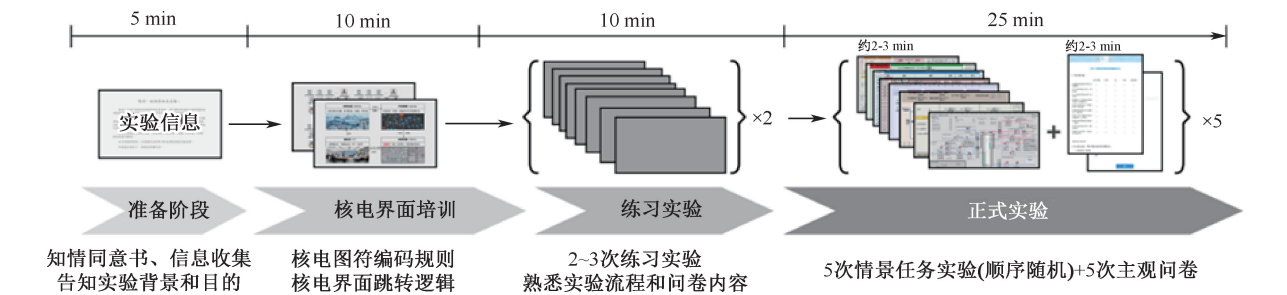


图 3 实验流程

Fig. 3 Experimental procedure

4 情景任务实验结果分析

4.1 实验后主观问卷的数据分析

实验后回收问卷共 135 份 (27×5),剔除填写时间小于 30 s 的问卷,保留最终问卷共 124 份。将问卷数据分为 SUS 可用性评分和主观选择题 2 部分进行分析。

描述性统计 124 项 SUS 评分数据,分析可得极相似组得分 (67.22) 略高于一般相似 (64.5) 和相似组别 (66.3); 不相似组 (42.10) 略低于极不相似组 (48.27),作为图中拐点值得进一步探讨。在 5 组 SUS 数据均满足正态分布,且未通过方差齐性检验 ($P=0.026<0.05$) 的情况下进行韦尔奇单因素方差分析,结果表明:平均值主效应显著 (方差比 F 统计量 = 8.702, $P<0.001$)。对 5 组 SUS 评分平均值进行盖姆斯豪厄尔多重比较,表明组 1 和组 2 之间无显著差异,组 3、组 4 和组 5 之间也无显著差异;组 1、组 2 分别与组 3、组 4、组 5 均存在显著差异。由此可知:5 套不同相似度界面的主观可用性仅在由不相似转为一般相似的过程中产生较大变化,应从后续行为数据的分析中加以验证和深入探讨。

主观选择题显示,被试对各相似度界面变化的判断符合预设;超 60% 被试记忆图符与编码并多按图符筛选目标,近 40% 仅记编码全局搜索,实验策略占比差异极小,推测其与界面相似性无关,其对认知绩效的影响需进一步研究。

任务难度分析表明:界面相似度越低主观难度越高,布局变化与界面复杂度占比随相似度升高而下降,颜色因素占比无明显变化,说明二者是影响认知绩效的核心相似性特征。综上,主观问卷分析提出以下问题:

1) 5 组 SUS 评分平均值的多重比较结果表明:主观可用性仅在由不相似转为一般相似的过程中产生显著差异,且一般相似至极相似 3 个组别的可用性得分更高,是否表明界面最佳相似值在一般相似值至极相似值范围内?

2) 随着界面越加相似,被试对任务难度的主观感受逐渐降低,界面相似性与被试认知绩效是否存在影响关系?

因此,有必要通过行为数据进行进一步客观验证与分析。

4.2 不同界面相似度对认知绩效的影响

对 27 名被试的 135 组客观数据进行错误数和反应时的描述性分析见表 6、表 7,由表 6、表 7 可知:错误数的数据均不符合夏皮洛-威尔克正态分布 (<0.05),反应时的数据除极相似组外均符合正态分布。将反应时进行以 10 为底的对数转换,得到的 5 组数据均符合正态分布。因此,采用对数转换后的反应时作为后续主要处理数据。

表 6 不同相似度界面的错误数描述统计

Table 6 Descriptive statistics of error number for interfaces with different similarity levels

界面相似度	错误数平均值/个	标准差	渐进显著性
极不相似	1.48	1.25	0.026
不相似	1.41	0.93	0.002
一般相似	0.52	0.70	<0.001
相似	0.63	0.79	<0.001
极相似	0.81	0.88	<0.001

反应时均值如图 4 所示。不同于 SUS 评分的主观数据,反应时均值的数据拐点并非不相似组,而是一般相似组。不相似组与极不相似组主观困难程度相近,但不相似组主观界面复杂度更高、可用性更

表 7 不同相似度界面的反应时描述统计

Table 7 Descriptive statistics of reaction times for interfaces with different similarity levels

界面相似度	反应时平均值/s	标准差	渐进显著性	对数转换后的显著性
极不相似	151.32	37.45	0.466	0.704
不相似	146.66	40.80	0.081	0.246
一般相似	98.74	27.10	0.148	0.761
相似	112.40	33.74	0.238	0.981
极相似	124.08	38.38	0.005	0.069

差;界面相似度与主观任务难度呈负相关,一般相似组反应时最短,相似度进一步增大则反应时增加,这表明 SUS 主观评分与反应时绩效并非简单线性对应。

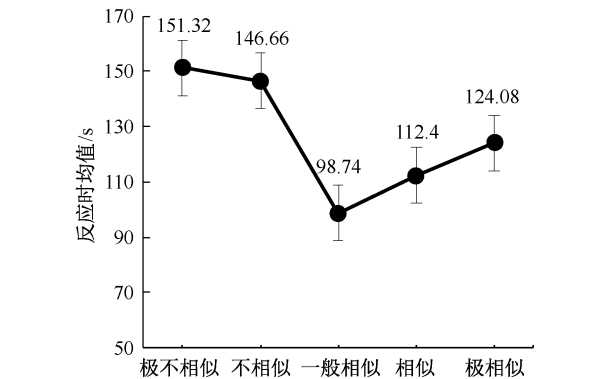


图 4 不同界面相似度的反应时均值

Fig. 4 Mean response times for interfaces with different similarity levels

对转化后的反应时进行单因素重复测量方差分析。在满足莫奇来球形假设的情况下 ($P=0.405>0.05$),主效应显著 ($F=22.708,P<0.001$)。成对比较 5 组对数反应时可得,极不相似组与不相似组无显著差异 ($P=1.000$),与一般相似、相似和极相似均存在显著差异 ($P<0.05$);一般相似组与除相似组外的其余 3 组均有显著差异 ($P<0.05$)。由此可知:不同界面相似度对认知绩效存在显著差异,当界面整体为一般相似或相似时,用户认知绩效较好。

根据图 4,并结合表 5 界面整体相似值 T_0' ,主观推测和线性拟合界面整体相似度与认知绩效的关系,如图 5 所示。第 1 种推测为认知绩效拐点出现在不相似组(相似值 3.517)与一般相似组(相似值 4.624)之间;第 2 种推测为认知绩效拐点出现在一般相似组(相似值 4.624)与相似组(相似值 5.538)之间。由于无法确定哪种推测更为准确,因此,初步判定,当界面整体相似值越靠近 4.624 则认知绩效越好;相似值处于 4.624~5.538 时,能够保持确定良好的认知绩效;总体而言,当界面相似值判定为

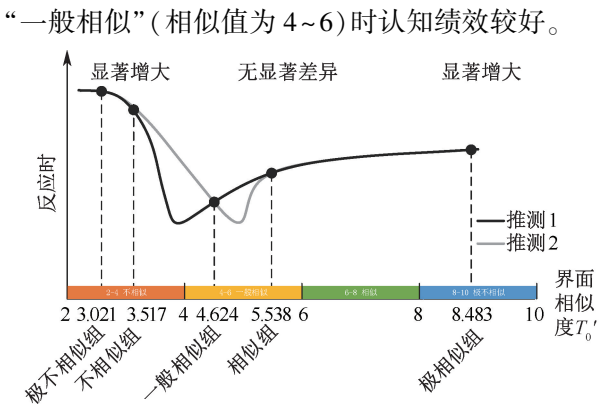


图 5 界面整体相似值 T_0' 与反应时的关系

Fig. 5 Relationship between overall interface similarity value T_0' and reaction time

4.3 核电界面相似性的应用建议

实验结果表明:当界面感知相似性处于中等水平(相似值为 4~6)时,任务识别绩效最优,即采用 3 种主色、3 种布局、3 种复杂度最为合适。因此,在核电界面设计中应重点控制颜色、布局结构与信息复杂度等关键感知变量,保持整体界面感知相似性处于最佳认知区间,避免因界面过度一致或差异过大引发的注意力分散和感知混淆。具体而言,设计过程中应适当减小搜索目标之间的感知差异,增强设计元素的一致性与可辨识性;同时,应增大任务相关目标与界面干扰信息(如非关键功能区、辅助导航元素)之间的差异性,以提高目标检索的准确性与效率。此外,常用功能区(如导航、返回、界面跳转等)的位置应保持稳定,避免界面切换过程中对操纵员空间记忆和操作路径的干扰,界面的复杂度应适度控制,避免结构层级过深。

5 结 论

- 1) 文中提出 3 个整体感知相似维度筛选的 10 个界面相似性感知特征,建立了核电界面整体感知相似性计算方程。
- 2) 实验结果表明:界面相似性对操纵员认知绩效具有显著影响;颜色、布局结构与复杂性的方差膨胀系数均小于 5;当界面相似值处于“一般相似”区间(4~6)时,操纵员认知绩效最优。该结果能够为核电界面的信息布局优化提供理论支撑。
- 3) 未来可在静态视觉界面的相似性评估研究基础上,深入考虑界面动态交互特性与多模态信息的影响,为后续开展智能核电界面的视觉认知绩效提供更全面的研究价值。

参考文献

- [1] HE Yuqi, WU Xiaoli, YANG Xingcan, et al. Research on similarity bias in dual objective visual search based on nuclear power human-machine interface icons[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2024, 104: DOI: 10.1016/J.ERGON.2024.103656.
- [2] ZHANG Ying, SHAO Jiang, LIU Ke, et al. Biases on visual warnings during multiple target visual searches on mine monitoring interface[J]. Displays, 2023, 77: DOI: 10.1016/J.DISPLA.2023.102387.
- [3] 吴晓莉,于士康,刘志垚,等. 核电厂监控显示界面数据图符信息突显研究[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(9): 29-36.
- WU Xiaoli, YU Shikang, LIU Zhiyao, et al. Study on information highlighting of data graph in nuclear power plant monitoring display interface[J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(9): 29-36.
- [4] NAVARRE D, PALANQUE P, HAMON A, et al. Similarity as a design driver for user interfaces of dependable critical systems[C]. Global Thoughts, Local Designs, 2018: 114-122.
- [5] MCDUGALL S, ISHERWOOD S. What's in a name? the role of graphics, functions, and their interrelationships in icon identification[J]. Behavior Research Methods, 2009, 41(2): 325-336.
- [6] 吴晓莉,吴新兵. 核电厂监控系统界面功能布局优化模型及应用[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(9): 96-101.
- WU Xiaoli, WU Xinbing. Function layout optimization model and application of monitoring system interface in nuclear power plant[J]. China Safety Science Journal, 2020, 30(9): 96-101.
- [7] SKOGEN M G R. An investigation into the subjective experience of icons: a pilot study[C]. Tenth International Conference on Information Visualisation (IV'06). IEEE, 2006: 368-373.
- [8] 陈晓皎,薛澄岐,陈默,等. 基于眼动追踪试验的数字界面质量评估模型[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2017, 47(1): 38-42.
- CHEN Xiaojiao, XUE Chengqi, CHEN Mo, et al. Quality assessment model of digital interface based on eye-tracking experiments[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2017, 47(1): 38-42.
- [9] 韩振华,曹立人. 刺激相似性对包围结构材料视觉搜索影响的试验研究[J]. 心理科学, 2010, 33(2): 361-363.
- HAN Zhenhua, CAO Liren. Stimulus similarity and closed structure material in visual search procession[J]. Journal of Psychological Science, 2010, 33(2): 361-363.
- [10] 谭建荣,岳小莉,陆国栋. 图形相似的基本原理、方法及其在结构模式识别中的应用[J]. 计算机学报, 2002, 25(9): 959-967.
- TAN Jianrong, YUE Xiaoli, LU Guodong. Basic principle, method of graphic similarity and its application to structure pattern recognition[J]. Chinese Journal of Computers, 2002, 25(9): 959-967.
- [11] 陆炎凯. 基于视觉注意捕获的复杂信息系统界面可视化研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2020.
- LU Yankai. Research on visualization of complex information system based on visual attention capture[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2020.
- [12] SHANNON C E. A mathematical theory of communication[J]. The Bell System Technical Journal, 1948, 27(3): 379-423.
- [13] COMBER T. An analysis of entropy, redundancy and complexity in graphical user interfaces[D]. Lismore: Southern Cross University, 2010.

作者简介: 吴晓莉 (1980—),女,新疆伊宁人,博士,教授,主要从事人因失误、人机交互与工效学方面的研究。E-mail: wuxlhhu@163.com。