

DOI:10.11918/202009068

潜航员认知效能驱动的作业舒适度评价方法

朱梦雅¹, 陈登凯¹, 叶聪², 王憬鸾¹

(1. 工业设计与人机工效工信部重点实验室(西北工业大学), 西安 710072; 2. 中国船舶科学研究中心, 江苏 无锡 214000)

摘要: 舒适的作业环境是人员高水平作业能力维持的重要保障,为实现载人潜水器舱室操作系统作业舒适度的定量评价,依据载人潜水器操作系统中显控界面、操作面板和通讯设备3个子系统的舒适性特征,提出潜航员认知效能驱动的载人潜水器舱室操作系统作业舒适度评价方法。该方法基于潜航员作业实际,分析潜航员认知流程,形成潜航员认知表现-效能-舒适度对应关系;依托操作系统作业舒适度实验数据,运用效用函数构建潜航员认知效能模型;采用支持向量机模型综合考虑子系统特征属性以及潜航员认知效能、年龄、学历等因素对子系统作业舒适度感知的影响;结合专家权重调查法,实现子系统作业舒适度耦合,确定操作系统作业舒适度。结果表明:当显控界面亮度、对比度和自然饱和度分别界于 $[-25,0]$, $[-50,-25]$, $[-25,0]$ 范围,操作面板设计具有合理的布局参数和待布区形心相对位置,以及通讯设备中环境噪声频率较低和通信语音采样频率为48 000 Hz时,操作系统具有较高的舒适度。本研究表明,潜航员认知效能与主观舒适度具有相同的变化趋势,基于潜航员认知效能判断舱室操作系统作业舒适度的方法可行。

关键词: 操作系统作业舒适度; 认知效能; 载人潜水器舱室; 效用函数; 支持向量机

中图分类号: TB47 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2022)06-0001-11

Evaluation method for operating comfort based on cognitive efficiency of oceanauts

ZHU Mengya¹, CHEN Dengkai¹, YE Cong², WANG Jingluan¹

(1. Key Laboratory for Industrial Design and Ergonomics of Ministry of Industry and Information Technology(Northwestern Polytechnical University), Xi'an 710072, China; 2. China Ship Scientific Research Center, Wuxi 214000, Jiangsu, China)

Abstract: A comfortable operating environment is important for the maintenance of operational capability. An evaluation method driven by cognitive efficiency of oceanauts was proposed to quantitatively evaluate the operation comfort of manned submersible operating system, which was based on the comfort characteristics of the display control interface, operation panel, and communication equipment in the system. The cognitive process of oceanauts was analyzed based on the practical operation, and the relationship between the cognitive performance, efficiency, and comfort of oceanauts was established. The cognitive efficiency model of oceanauts was constructed by using utility function according to the comfort experiment data of operating system. Support vector machines (SVM) were adopted to comprehensively investigate the influence of sub-system attributes, cognitive efficiency, age, educational background, and other factors of oceanauts on sub-system comfort perception. Through the expert weight survey method, the sub-system comfort coupling was realized and the operating system comfort was determined. Results show that the operating system could maintain a higher comfort level under the conditions that the brightness, contrast, and natural saturation of the display control interface were within $[-25,0]$, $[-50,-25]$, and $[-25,0]$, respectively, the operation panel design had reasonable layout parameters and centroid position, the environmental noise frequency was low, and the communication voice sampling frequency was 48 000 Hz in communication equipment. The study indicates that the cognitive efficiency and subjective comfort have the same variation trend, and it is feasible to judge the comfort of the cabin operating system based on the cognitive efficiency of the submarine oceanauts.

Keywords: operating system comfort; cognitive efficiency; cabin of manned submersible; utility function; support vector machines

载人潜水器任务期内常需携带众多设备仪器,

且其舱室内部空间通常较为狭小,这导致潜航员可活动范围有限,舒适度极为受限。因此实现操作系统舒适性的定量评价,对操作系统作业舒适度改善与提升至关重要。

作业人员良好的认知能力是顺利完成作业任务的保障。潜航员的认知能力受操作系统中多重因素

收稿日期: 2020-09-15

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0300600); 中央高校基本科研业务费资助(31020190504007)

作者简介: 朱梦雅(1993—),女,博士研究生;
陈登凯(1975—),男,教授,博士生导师

通信作者: 陈登凯, chendengkai@nwpu.edu.cn

耦合影响,同时良好舒适的作业环境又有助于人员高认知水平的维持。然而目前国内针对操作系统舒适性的研究多集中在系统热环境舒适性^[1-3],作业姿态舒适性^[4]等方面,如余群舟等^[5]运用 CATIA 软件建立工人抹灰作业上肢姿势不舒适度评价模型,赵川等^[6]采用模糊神经网络的方法实现站姿操纵任务下人员舒适度评价,陈景辉等^[7]应用生物力学理论结合肌肉负荷水平完成驾驶员姿态舒适性的评价。但在这些研究中都缺乏对作业人员主观认知能力与水平的思考,因而鲜有基于作业人员认知能力的操作系统整体性舒适度的度量与评价。

本文将以潜航员认知能力为驱动,设计载人潜水器作业子系统认知实验,获取相应实验数据,构建

舱室操作系统作业舒适度评价模型,确定舒适度评价一般方法。

1 问题描述与模型构建

1.1 基于 IDAC 模型的潜航员认知流程分析

IDAC (information, decision, action in a crew) 模型,即成员间的信息、决策和行为模型,是在行为科学理论 IDA 模型的基础上发展的动态评价人因可靠性的方法^[8],可有效涵盖作业人员在信息处理、判断决策和动作执行阶段的反应。本文将结合潜航员实际作业任务和 IDAC 模型,对潜航员认知流程展开分析(如图 1 所示),深入梳理潜航员认知特征。

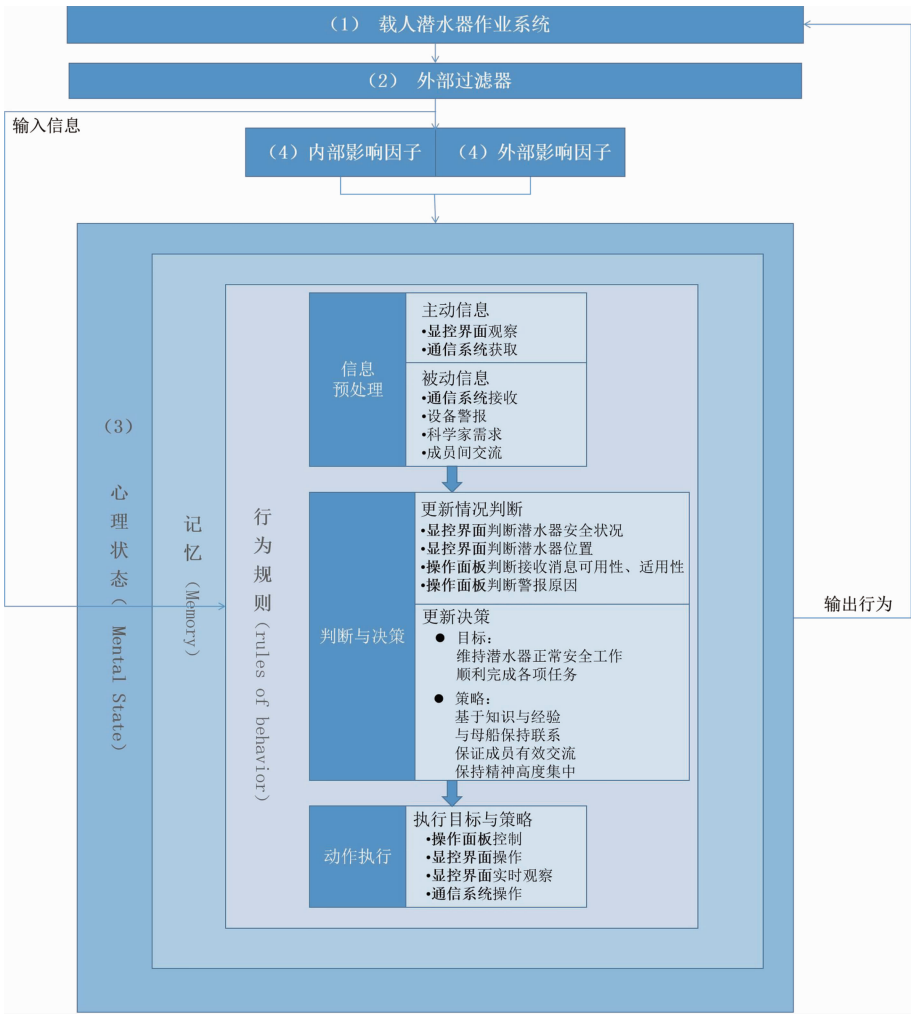


图 1 基于 IDAC 模型的潜航员认知过程

Fig. 1 Cognitive process of oceanauts based on IDAC model

1.2 基于效用函数的潜航员认知效能评价

1.2.1 潜航员认知效能影响因子

基于 IDAC 模型的潜航员认知流程分析,本文针对密闭舱室操作系统中的显示界面、操作面板及

通讯设备,同时考虑潜航员的视觉、听觉舒适度,梳理构建潜航员认知表现—效能—舒适度关系对应表,见表 1。

表 1 潜航员认知表现—效能—舒适度对应表

Tab. 1 Correlation of cognitive performance-efficiency-comfort level of oceanauts

认知表现	认知效能影响因素	认知效能维度	对应舒适度评价维度	对应子系统
信息观察	显示信息亮度	视觉认知效能	视觉舒适度	显控界面
	显示信息对比度			
	显示信息自然饱和度			
操作执行	操作面板相对分布	视觉认知效能	视觉舒适度	操作面板
	操作面板色彩布局			
信息咨询与接受	信息响度	听觉认知效能	听觉舒适度	通讯设备
	环境噪声频率			
	信息采样频率			

1.2.2 潜航员认知效能效用函数模型

效用概念最早由 Von Neuman 等^[9]首先引入综合评价体系。目前,已有研究者将效用函数应用于装备作战效能、产品或服务体系的评价研究^[10-15]。

其构建方法是将评价指标按照一定的方法进行无量纲化,然后按一定的合成模型加权形成总评价价值,一般计算公式为

$$E = \xi(y_i, \omega_i), i = 1, 2, \cdots, n \tag{1}$$

式中: E 为综合效用评价值, ξ 为 y_i 与 ω_i 的合成函数, ω_i 为单个指标权重, $y_i = f(x_i)$ 为 x_i 的效用函数评价值,即量纲一的值。

由于在认知研究中,速度和准确性是绩效的两个重要方面^[16]。因此本文将收集各认知实验中的认知反应时间和正确率数值,构建相应的认知效能效用函数模型。

1.3 基于支持向量机模型的潜航员密闭舱室舒适度评价

支持向量机(Support vector machines, SVM)是一种以统计学理论为基础的机器学习方法^[17-18]。由于其本身的优化目标是结构化风险最小,比 BP 神经网络具有更强的逼近能力和泛化能力,是目前效果最好的分类器之一^[19]。因此本文将运用支持向量机模型,结合回归预测分析方法,依次分析视觉、听觉舒适度与各输入变量、被试者年龄、学历之间关系,构建相应的舒适度评价模型并展开验证,为载人潜水器舱内舒适度评价提供理论基础。

2 实验设计

2.1 实验方案

基于上述分析,邀请 40 名男性参与实验,他们的年龄介于 21 ~ 40 岁,学历层次包括本科、硕士和博士。实验过程中请被试人员以身体略微前倾姿态,坐于所搭建的模拟舱室环境中,其显控界面、操作面板、通讯设备布局如图 2 所示。

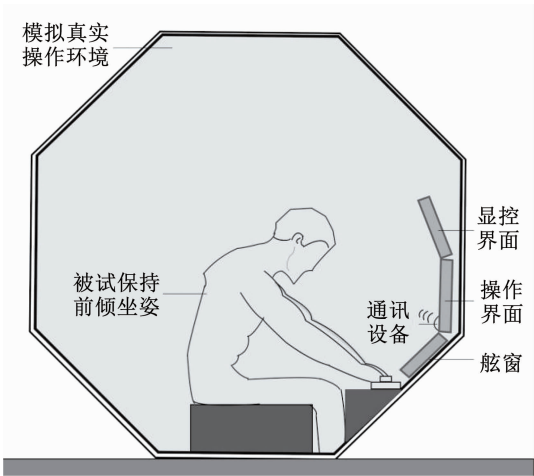


图 2 实验过程示意

Fig. 2 Schematic diagram of experimental process

2.1.1 显控界面舒适度实验

由于数字显控界面在潜航员信息收集、显示及记录等作业过程中尤为重要,因此在显控界面舒适度探究中,将考虑显控界面设计的色彩特征对潜航员认知效能的影响。已有研究显示,亮度和对比度是视觉性能和显示质量的重要因素^[20-22]。同时,不同饱和度的色彩界面对作业人员的视觉冲击与造成疲劳各有不同。

因此在本实验中,以某型载人潜水器操作系统中潜水器位置呈现界面为基础(默认其亮度、对比度和自然饱和度值均为 0,如图 3(a)所示),邀请被试完成 11 组不同亮度、对比度和自然饱和度的操作界面(如图 3 所示)认知和舒适度判断实验,并采用 E-prime 软件记录对应认知反应时间和正确率。实验过程中,针对每一个界面被试都需填写对应的主观视觉舒适度评价问卷。该问卷包含从 1 ~ 7 的 7 个得分,分别表示极度不舒适、非常不舒适、轻微不舒适、无明显舒适或不舒适感受、比较舒适、非常舒适和极度舒适。

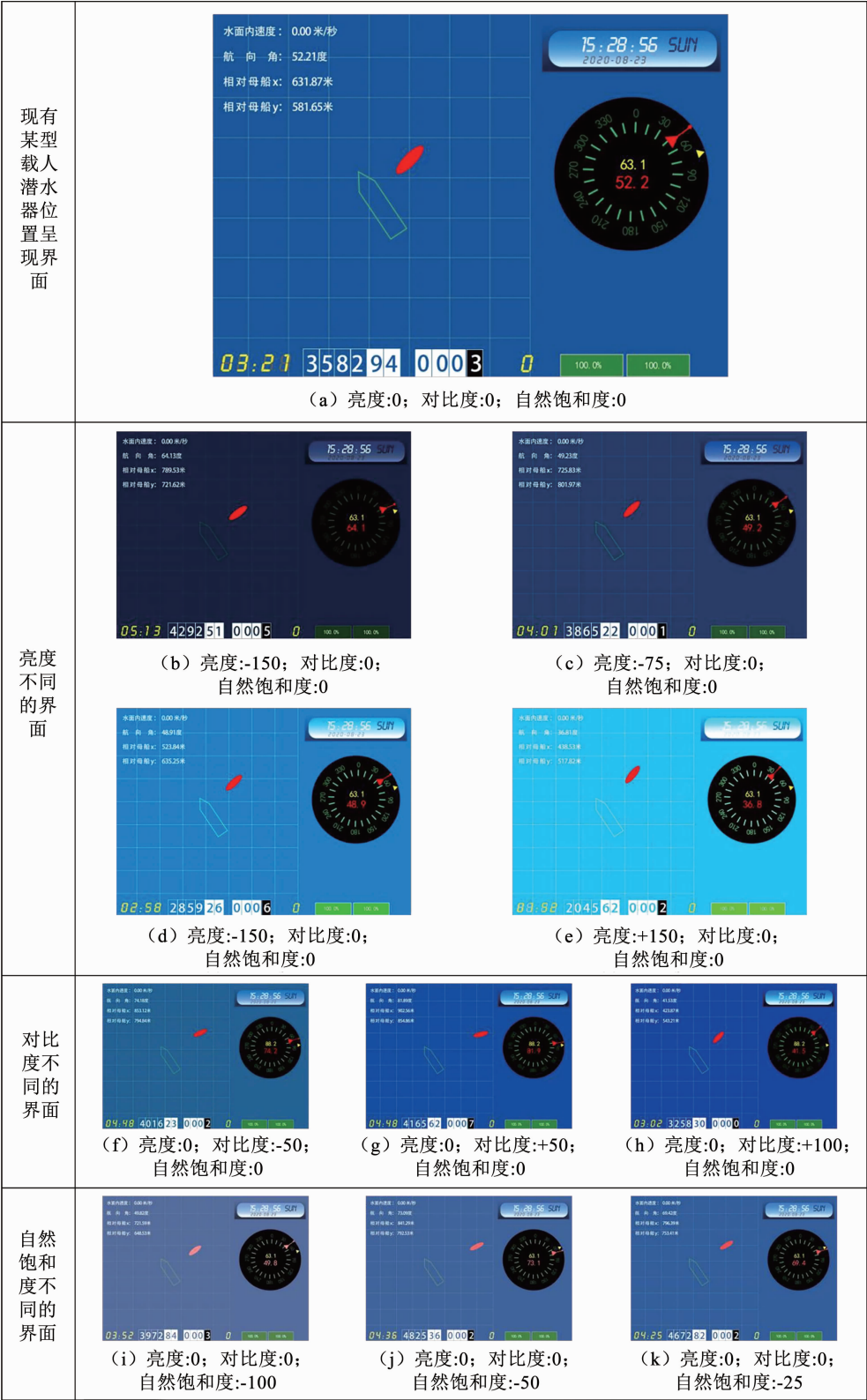


图 3 显控界面实验图片

Fig. 3 Pictures in display control interface experiment

2.1.2 操作面板舒适度实验

载人潜水器的操作面板位于驾驶台正前方,是潜航员获取潜水器警报信息并对潜水器进行控制的主要界面^[23-24]。因此本文将通过对指令开关的布局分析,判断潜航员认知效能与操作面板舒适度的

对应关系。

以潜航员下潜和采样作业过程中对操作面板的控制为例,在此实验中将着重考虑操作面板中“压载水箱控制区”、“潜浮抛载控制区”、“水下灯供电控制区”、“拍摄供电控制区”、“液压源控制区”和

“机械手供电控制区”不同的布局对被试认知与舒适度的影响。各方案布局如图4所示。实验过程中本文将结合载人潜水器真实作业流程,要求每位被试展开6组认知速度测试,并采用激光笔、GifCam与Eprime软件可视化并记录被试操作过程。图5即为方案1布局条件下基于作业流程的实验要求的视觉认知正确路径示意图。每个布局方案实验结束后,请被试根据真实心理感受,记录个人对该方案的舒适度,填写主观舒适度评价问卷。

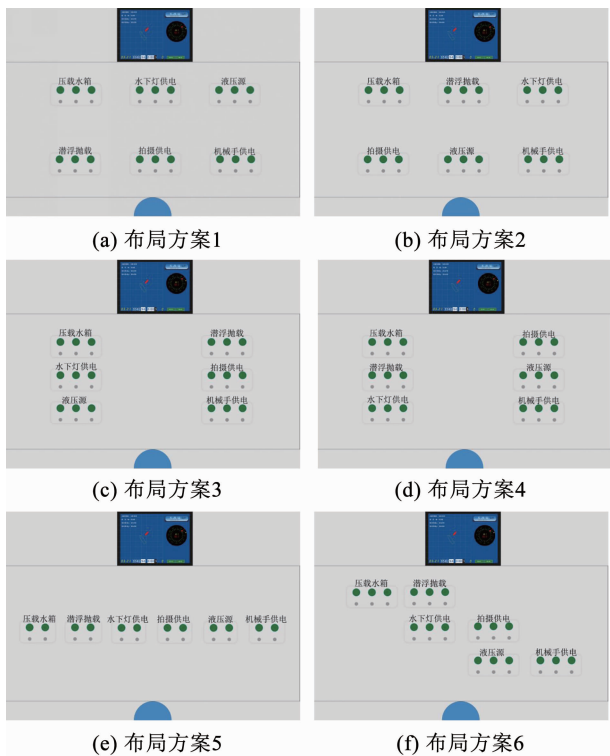


图4 操作面板实验图片

Fig. 4 Pictures in operation panel experiment



图5 基于作业流程的实验要求视觉认知路径

Fig. 5 Visual cognitive path required by experiment based on operation process

2.1.3 通讯设备舒适度实验

由于潜航员在作业过程中需要不定时与母船交流联系,获取母船指令信息、向母船首席专家展开咨

询等,因此本文将从通讯设备的声音角度着手,探究其与潜航员听觉认知能力及舒适度的关系。声音的响度和频率特征是通讯设备声音的重要属性,由于实际操作环境下声音的响度可通过操作面板调节,因此本次实验中,将邀请被试完成7组实验,依次探究不同声音频率(包括频率分别为1 200、1 800、3 600、7 200 Hz的环境噪声,与采样频率分别为32 000、48 000、64 000 Hz的通信语音)对潜航员听觉认知效能的影响,并结合主观量表,掌握潜航员舒适度感知水平。

2.2 实验数据收集与处理

2.2.1 实验数据预处理

在显控界面和通讯设备舒适度实验中,各实验变量的数值都已具体化,但操作面板舒适度实验中,各操作控制区相对位置的具体数值尚未量化,因此将结合数学分析方法,量化各控制区相对位置参数,完成实验数据的预处理。

依据人员认知过程中视觉变化规律:从左到右,从上到下^[25],即Z字形,构建控制区形心位置计算方法,具体确定方法如下。

以待布控制区 m_i, m_j 的相对位置计算为例,其中 m_j 是 m_i 的下一步操作,依据视觉变化特征,构建 ξ_{ij} 函数,进而确定各实验操作面板的布局参数 ξ 。

$$\xi_{ij} = \begin{cases} 1.00, & \alpha = 180^\circ \\ 0, & 0^\circ < \alpha < 180^\circ \\ 1.00, & \alpha = 0^\circ \\ 0.75, & -90^\circ < \alpha < 0^\circ \\ 0.50, & \alpha = -90^\circ \\ 0.25, & -180^\circ < \alpha < -90^\circ \\ 0, & \alpha = -180^\circ \end{cases} \quad (2)$$

式中: ξ_{ij} 为待布控制区 i 和 j 的布局参数, α 为待布控制区 j 相对于 i 的夹角。

多待布区($n+1$ 个)的总参数 S 计算方法为式(3),即各相邻操作待布区的布局参数之和:

$$S = \sum \xi_{n(n+1)} \quad (3)$$

对于待布控制区 m_i, m_j ,其形心距离参数 d_{ij} 计算取二者形心几何距离平方;对于多待布区($n+1$ 个)的形心距离参数 D 为各相邻操作待布控制区距离参数之和:

$$D = \sum d_{ij} \quad (4)$$

式中 $d_{ij} = D_x + D_y = (x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2$ 。

以图4(a)为例,假定待布控制区总长度为 a ,宽度为 b (如图6所示),则该操作面板形心距离参数 $D = \frac{1}{8}a^2 + \frac{5}{4}b^2$ 。

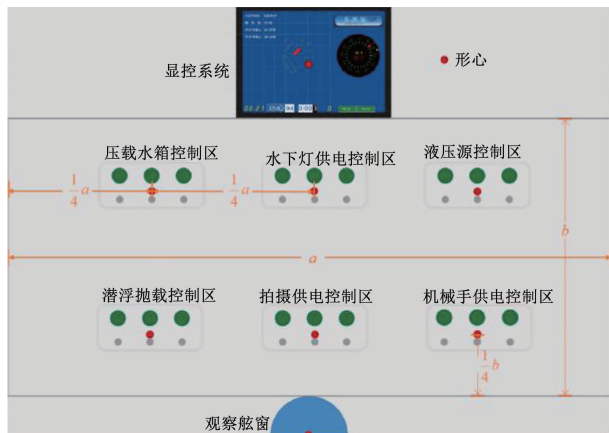


图 6 待布控制区距离参数计算

Fig. 6 Calculation of distance parameters of control area

2.2.2 潜航员认知效能求解

结合效用函数理论,收集实验获取的被试认知时间与正确率,依次构建相应的潜航员视觉认知效能函数、听觉认知效能函数,求得每位被试的视觉认知效能和听觉认知效能。

由于反应时间越长,认知效能水平越低;反应正确率越高,认知效能水平越高,因此在认知效能水平的无量纲化构建中,借鉴并结合逆效率得分 IES^[26]、正确率评分 RCS^[27],构建潜航员认知效能函数,即

$$P_i = \frac{10 \times \sum_{i=1}^n RT_i}{n \cdot RT_i} + AC_i \quad (5)$$

式中: RT_i 为第 i 个被试的反应时间, AC_i 为第 i 个被试的反应正确指数(反应正确时取 1,反应错误时取 0), n 为被试总人数, P_i 为被试 i 的认知效能。

2.2.3 操作系统作业舒适度评价

2.2.3.1 各子系统作业舒适度评价模型

以各实验条件变量和被试个人信息(年龄、学历等)为输入,被试的主观舒适度评分为模型的输出,在 matlab R2018a 软件中结合 Libsvm 软件包,建立操作系统作业舒适度评价的支持向量机模型,其具体过程如下:

1) 数据预处理。样本集数据归一化处理,以加快训练网络的收敛性。确定各实验数据的训练集和验证集。

2) 最佳模型参数选择。确定回归预测分析最佳的 SVM 参数惩罚因子 c 以及核函数参数 g 。

3) 网络训练。运用最佳参数,选取高斯径向基函数作为核函数,调用训练程序对实验数据进行训练。

4) 网络测试与验证。调用预测程序开展数据验证。

由于在实验数据收集中获得被试学历信息都为字符串,因此在模型构建前采用赋值法对上述两

种数据进行预处理:学历信息中本科毕业、硕士毕业、博士毕业依次被赋值为 1,2,3。

2.2.3.2 操作系统作业舒适度评价

结合各子系统作业舒适度评价结果,采用专家评价法,邀请多位专家,对各子系统作业舒适度在总操作系统的权重进行评价,获取操作系统作业舒适度评价结果。操作系统作业舒适度计算为

$$C_{os} = \sum \omega_m \times C_m \quad (m = 1, 2, 3) \quad (6)$$

式中: C_{os} 为操作系统作业舒适度, C_m 为各实验主观舒适度, ω_m 为子系统 m 对应的权重。

3 数据分析

3.1 子系统作业舒适度评价

3.1.1 显控界面舒适度评价

在显控界面舒适度评价中,首先运用潜航员认知效能求解中潜航员认知效能求解方法,计算各被试各实验条件下对应的认知效能。接下来在舒适度评价模型中依次输入:显控界面亮度、对比度、自然饱和度数值、被试年龄、学历和被试的视觉认知效能,输出被试的主观舒适度。选取 90% 的(396 条)实验数据作为训练集,剩下 10% (44 条)的数据作为验证集,该模型的训练结果如图 7(a) 所示。

3.1.2 操作面板舒适度评价

同样,首先计算得出被试在各实验条件下的认知效能,由于在该实验中未记反应正确率,因此效用函数中 AC_i 的值始终取 0。为便于计算和训练模型,在形心距离参数计算过程中取 $a = 16, b = 8$ 。在操作界面舒适度评价预测模型中,将输入被试年龄、学历、被试的视觉认知效能、布局参数、 x 和 y 方向形心距离参数。选取 90% 的(216 条)实验数据作为训练集,剩下 10% 的数据作为验证集,最终获得训练过程曲线如图 7(b) 所示。

3.1.3 通讯设备舒适度评价

首先计算得出各被试在各实验条件下的效能值,将通讯设备舒适度评价模型根据实验分为环境噪声舒适度评价模型和语音采样频率舒适度评价模型,分别选取 90% 的数据进行训练,剩余 10% 样本数据进行测试,训练过程曲线如图 7(c)、(d) 所示。

由于通讯设备中,环境噪声与信息采样频率同时存在,且对通讯设备都会产生影响,结合作业环境实际通信情况及专家访谈法,将环境噪声舒适度和语音信息舒适度权重分别取 0.6 和 0.4,以其加权平均值作为通讯设备舒适度评价结果。

3.1.4 实验模型性能验证

在显控界面实验中,将剩余的 10% (44 条) 数据输入舒适度评价模型,其预测值与实际值对比如

图 7(e) 所示,通过计算得知误差率均处于 10% 范围内,且预测值经四舍五入后均与实际值吻合,因此该模型准确,可用于显控界面舒适度评价仿真。

采用同样方法依次将操作面板实验、通讯设备

舒适度实验中剩余的 10% 数据输入模型,对比样本的预测值与实际值(如图 7(f) ~ 7(h) 所示),结果表明该评价模型预测准确,可用于操作界面和通讯设备舒适度预测与评价。

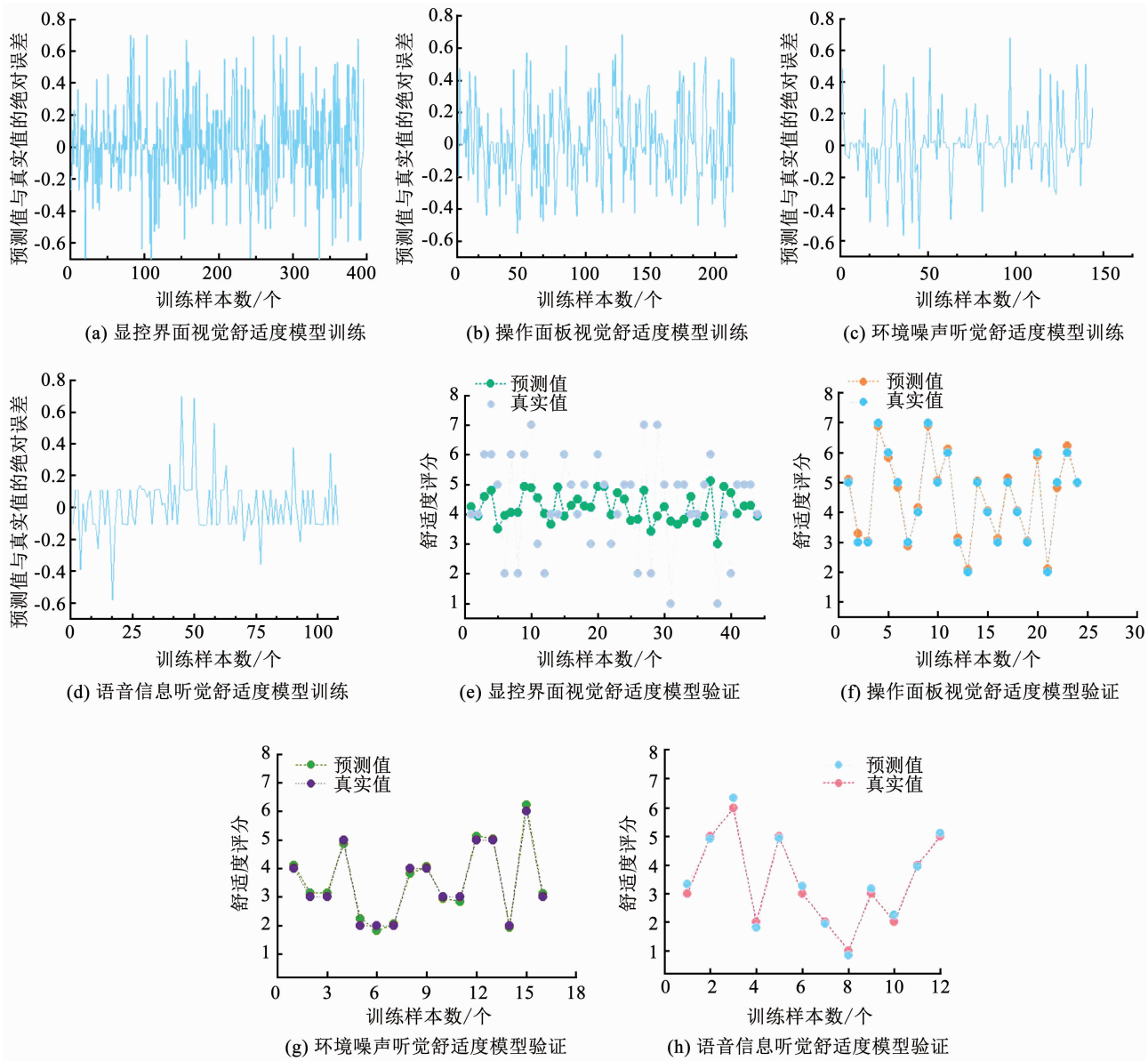


图 7 舒适度评价模型训练与验证结果

Fig. 7 Training and verification results of comfort evaluation model

3.2 操作系统作业舒适度评价模型

邀请本领域 5 位研究背景不完全相同的专家依次对子系统作业舒适度在总操作系统中所占权重进行评价,求其平均值作为最终权重,其评价结果见表 2。

由此确定显控界面、操作面板和通讯设备的舒适度权重依次为 0.41,0.32 和 0.27。因此可依据该权重,结合各子系统评价价值,求得操作系统作业舒适度。

以一位 27 岁男性、博士研究生被试的实验数据为例(见表 3 ~ 表 5),进行操作系统作业舒适度评价。

表 2 专家评价结果

Tab.2 Expert evaluation results

评价权重	显控界面舒适度权重	操作面板舒适度权重	通讯设备舒适度权重
专家 1	0.40	0.30	0.30
专家 2	0.50	0.30	0.20
专家 3	0.35	0.35	0.30
专家 4	0.40	0.35	0.25
专家 5	0.40	0.30	0.30
平均值	0.41	0.32	0.27

表 3 操作系统中显控界面作业舒适度评价举例

Tab.3 Example of display control interface in operating system
comfort evaluation

类别	亮度	对比度	自然饱和度	认知效能	主观舒适度	评价舒适度
取值	+75	0	0	20	3	3.049 1

表 4 操作系统中操作面板作业舒适度评价举例

Tab.4 Example of operation panel in operating system comfort evaluation

类别	布局参数	x 方向形心距离参数	y 方向形心距离参数	认知效能	主观舒适度	评价舒适度
取值	2	4	4	18	7	6.913 6

表 5 操作系统中通讯设备作业舒适度评价举例

Tab.5 Example of communication equipment in operating system comfort evaluation

类别	噪声频率	采样频率	信息长度	认知效能	主观舒适度	评价舒适度
环境噪声取值	3 600		5	10	3	2.983 9
语音信息取值		64 000	27	35	4	4.149 0

由表 3 ~ 表 5 得知,各子系统作业舒适度评价准确,计算得操作系统作业舒适度为 4.720 9,因此该被试在这样的操作系统条件下舒适度水平为 5 (四舍五入后),即该操作系统作业舒适度较为舒适。

4 讨 论

运用子系统作业舒适度评价中构建的各子系统作业舒适度评价模型,结合现有潜航员实际,本文以 30 岁、硕士学历的男性潜航员为例,依次探究不同子系统属性特征(如图 8(a) ~ 图 8(c))对被试舒适度感知的影响。

结合各子系统研究都可以清晰地发现:被试认知效能与主观舒适度具有相同的变化趋势(如图 8(d)),即被试认知反应越快,正确率越高,则系统的舒适度水平越高,越适宜潜航员作业。这说明基于认知效能判断显控系统作业舒适度具有可行性。

在已构建的舒适度评价模型中,输入相同的子系统属性特征值和被试认知效能,探究学历层次、年龄与舒适度的关系。从被试的学历层次角度来看,学历越高,对子系统作业舒适度的评价价值越低(如图 8(e)所示),结合文献[28 - 29]研究,发现文化程度越高,心理需求越高,对不适的感知和后续顾虑更多,因此学历更高的被试在舒适度感知过程中给出的舒适度评分相对更低。

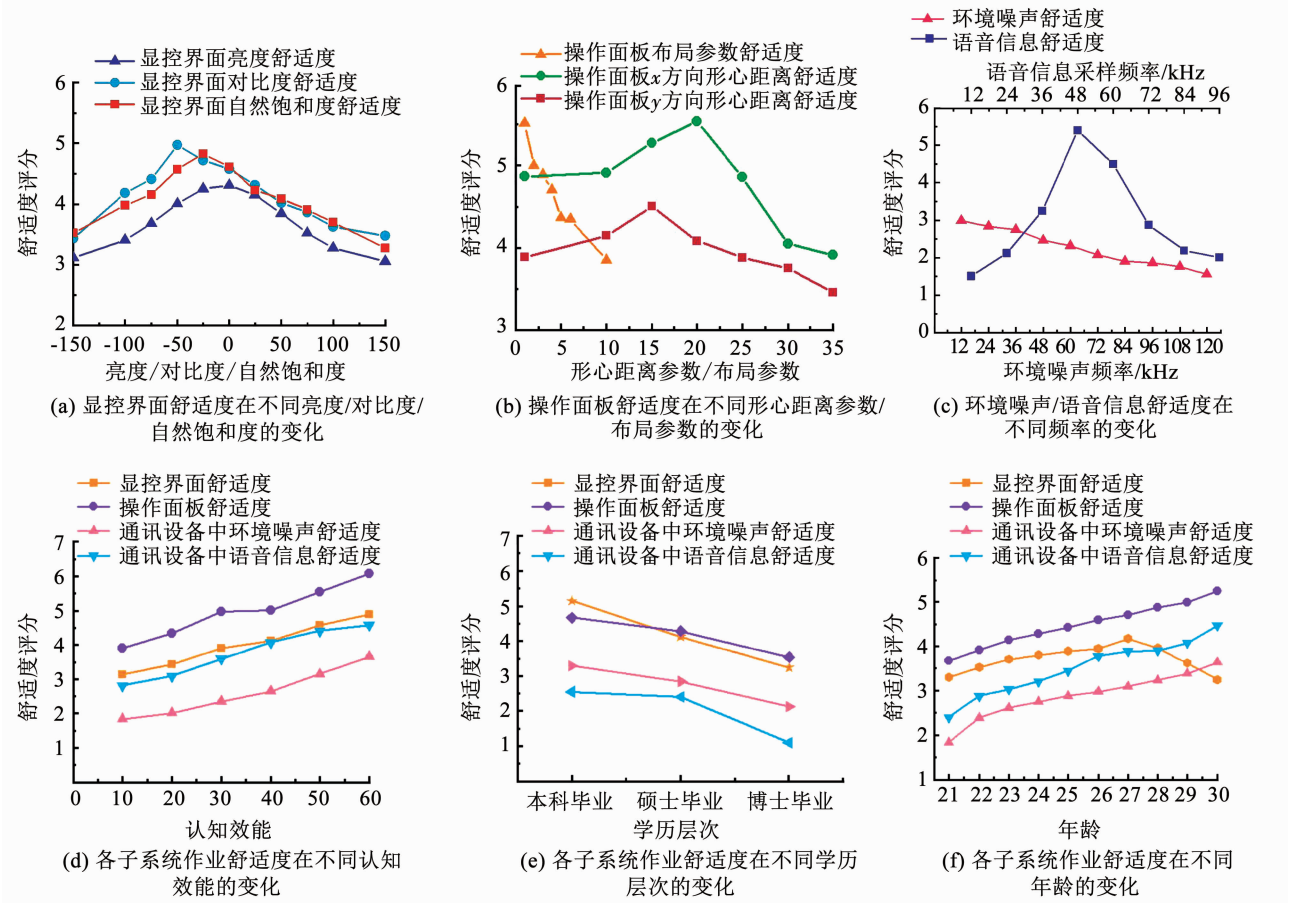


图 8 各变量对比结果

Fig.8 Comparison results of each variable

而在年龄方面,各子系统的最佳舒适度对应年龄略有不同(如图8(f)所示)。显控界面中,27岁的被试舒适度最高,而在操作面板和通讯设备中,随年龄增长舒适度都有提升。这与显控界面对人体机能(如判断、警惕能力等)有更高的要求,而操作面板和通讯设备使用中更多依赖于个人经验及对系统的适应性。

为提高结果的有效性和准确性,本文根据上述结论编制了调查问卷进行验证,积极联系中国船舶设计中心,邀请5位潜航员和2位载人潜水器设计工程师参与调研,同时也邀请10位未曾参与原实验的在校学生回答问卷,调研结果如图9所示,其舒适度与各变量对应关系与实验结论的总体趋势一致。

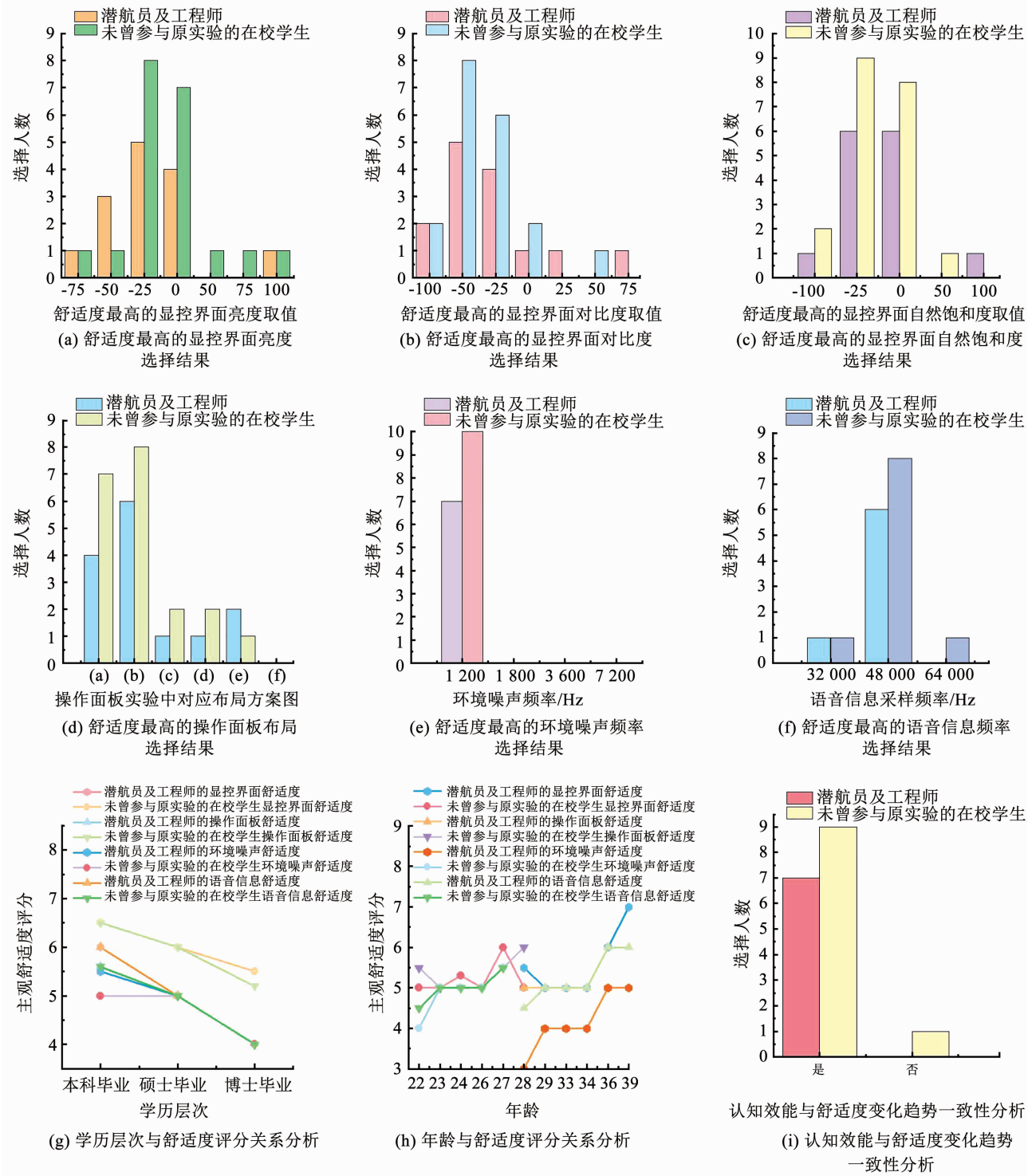


图9 调查问卷统计结果

Fig. 9 Statistical results of questionnaire

综合上述分析,为提高潜航员在作业环境中的舒适度,可在显控系统的界面设计中,将亮度、对比度和自然饱和度分别从 $[-25, 0]$, $[-50, -25]$, $[-25, 0]$ 中取值。操作面板设计中,需综合考虑待布区的操作相关性与人员视觉认知规律,设置合理的布局参数和形心相对位置。在通讯设备中,可通过安装减振降噪设备,降低噪声频率,并将通信语音的采样频率设定为 48 000 Hz,提高潜航员主观舒适度。同时本文也发现,认知效能与舒适度具有相同的变化规律,这也从侧面印证了本文的可行性,即较高的认知效能也对应于较高的舒适度。同时,年龄和学历层次都会对潜航员的舒适度产生影响。

5 结 论

1) 本文提出了一种基于效用函数和支持向量机模型的载人潜水器操作系统作业舒适度评价方法,将操作系统作业舒适度评价问题与潜航员认知效能构建联系,实现了对子系统作业舒适度的评价及分析。

2) 合理的显控界面亮度、对比度和自然饱和度设置,综合考虑待布区的操作相关性与人员视觉认知规律的操作面板布局,以及较低的噪声频率和适宜的通信语音的采样频率,都有助于提高潜航员主观舒适度。潜航员的年龄、学历和认知效能都会对作业舒适度产生影响。

3) 本研究证明了基于人员认知效能的作业舒适度评价方法的可行性,同时给出了舱室作业子系统属性特征设计的建议区间。

参考文献

- [1] 张帅, 余隋怀, 陈登凯, 等. 载人潜水器深海作业舱室热舒适性分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2019, 51(4): 33
ZHANG Shuai, YU Suihuai, CHEN Dengkai, et al. Thermal comfort analysis of deep-sea operating cabin of manned submersible[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2019, 51(4): 33. DOI: 10.11918/j.issn.0367-6234.201712133
- [2] 聂兴信, 冯珊珊, 张书读, 等. 高海拔矿井作业人员动态热舒适性评价[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(1): 186
NIE Xingxin, FENG Shanshan, ZHANG Shudu, et al. Dynamic comfort evaluation for operators in high-altitude mines[J]. China Safety Science Journal, 2020, 30(1): 186. DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2020.01.028
- [3] 彭卫平, 陈磊, 雷金, 等. 机加工车间自然通风条件下人体热舒适性预测模型研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2020, 53(3): 261
PENG Weiping, CHEN Lei, LEI Jin, et al. Research on human thermal comfort prediction model for machining workshop in natural ventilation[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2020, 53(3): 261. DOI: 10.14188/j.1671-8844.2020-03-011
- [4] 徐剑波, 余隋怀, 屈文涛. 修井机司钻作业生物力学仿真与姿态舒适度评价[J]. 机械设计, 2017, 34(10): 114
XU Jianbo, YU Suihuai, QU Wentao. Biomechanical simulation and posture comfort evaluation of workover rig drilling operation[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(10): 114. DOI: 10.13841/j.cnki.jxsj.2017.10.020
- [5] 余群舟, 郑智鹏, 郭林飞, 等. 建筑抹灰作业工人上肢姿势不舒适度评价模型[J]. 土木工程与管理学报, 2020, 37(1): 31
YU Qunzhou, ZHENG Zhipeng, GUO Linfei, et al. Evaluation model for upper limb posture discomfort of workers in construction plastering[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2020, 37(1): 31. DOI: 10.13579/j.cnki.2095-0985.20200428.001
- [6] 赵川, 余隋怀, 陈晨, 等. 面向站立姿态的操纵舒适性评价模型研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2020, 52(5): 194
ZHAO Chuan, YU Suihuai, CHEN Chen, et al. Research on the control handing comfort evaluation model for standing posture[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2020, 52(5): 194. DOI: 10.11918/201901045
- [7] 陈景辉, 任金东, 陆善彬, 等. 驾驶员姿势舒适性评价的研究[J]. 汽车工程, 2013, 35(6): 548
CHEN Jinghui, REN Jindong, LU Shanbin, et al. A research on the evaluation of driver's posture comfort[J]. Automotive Engineering, 2013, 35(6): 548. DOI: 10.3969/j.issn.1000-680X.2013.06.014
- [8] DEGRAUWE M G R, NYS O, DIJKSTRA E, et al. IDAC: An interactive design tool for analog CMOS circuits[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1987, 22(6): 1106. DOI: 10.1109/JSSC.1987.1052861
- [9] VON NEUMAN J, MORGENSTERN O. Theory of game and economic behavior[M]. New Jersey, USA: Princeton University Press, 1949
- [10] 李春杰, 程艳从, 赵会茹. 基于效用函数的电力普遍服务综合效用评价[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(22): 54
LI Chunjie, CHENG Yancong, ZHAO Huiru. Comprehensive utility evaluation of electric power universal service based on utility function[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(22): 54. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1026.2012.22.009
- [11] 王琴琴, 宋太亮, 汤伟达, 等. 基于效用函数的装备保障效能评价方法[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(11): 79
WANG Qinqin, SONG Tailiang, TANG Weida, et al. Evaluation of equipment support efficiency based on theory of utility function[J]. Fire Control & Command Control, 2014, 39(11): 79. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0640.2014.11.019
- [12] 刘华, 陈维平, 赵海东, 等. 基于效用函数逼近的绿色产品评价方法[J]. 机械工程学报, 2005, 41(10): 17
LIU Hua, CHEN Weiping, ZHAO Haidong, et al. Evaluation on approximation to utility function of green product[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2005, 41(10): 17. DOI: 10.3321/j.issn:0577-6686.2005.10.004
- [13] MALEYEFF J, CHEN Danrong. Consumer health informatics approach for personalized cancer screening decisions using utility functions[J]. Health Informatics Journal, 2020, 26(4): 2877. DOI: 10.1177/1460458220949484
- [14] LU Mengke, GUAN Jun, XIONG Chang, et al. Evaluation of black-start scheme based on risk utility function[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2020, 121: 106082. DOI: 10.1016/j.ijepes.2020.106082

[15] GU T, CHEN Y. Effectiveness evaluation of UAVs to detect maritime targets in marine environment [J]. Journal of Coastal Research, 2018, 83: 623. DOI:10.2112/SI83-102.1

[16] VANDIERENDONCK A. A comparison of methods to combine speed and accuracy measures of performance: A rejoinder on the binning procedure [J]. Behavior Research Methods, 2017, 49: 663. DOI: 10.3758/s13428-016-0721-5

[17] VAPNIK V N. The nature of statistical learning theory [M]. New York: Springer-Verlag, 1995

[18] CHERKASSKY V. The nature of statistical learning theory [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1997, 8(6): 1564. DOI: 10.1109/TNN.1997.641482

[19] CHANG C C, LIN C J, BLUNDELL M. LIBSVM: A library for support vector machines [J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2011, 2(3): 27. DOI: 10.1145/1961189.1961199

[20] WANG A H, CHEN M T. Effects of polarity and luminance contrast on visual performance and VDT display quality [J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2000, 25(4): 420. DOI: 10.1016/S0169-8141(99)00040-2

[21] WANG Kun, HO Chunheng, ZONG Yan. Analysis of brightness and color temperature of liquid crystal display on visual comfort based on eye health monitoring of humans [J]. Journal of Medical Imaging and Health Informatics, 2020, 10(6): 1360. DOI: 10.1166/jmihi.2020.3058

[22] HUANG H P, WEI Minchen, OU Lichen. Effect of text-background lightness combination on visual comfort for reading on a tablet display under different surrounds [J]. Color Research and Application, 2019, 44(1): 59. DOI: 10.1002/col.22259

[23] 丁忠军, 高翔, 刘保华. 蛟龙号载人潜水器驾驶与操纵训练模拟系统 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2019, 40(3): 445

DING Zhongjun, GAO Xiang, LIU Baohua. Diving and operation training simulation system for JIAOLONG manned submersible [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2019, 40(3): 445. DOI:10.11990/jheu.201803090

[24] 杨鸣宇, 赵洋, 陶祎春, 等. 载人潜水器人机交互控制装置: 201721626929 [P]. 2018-11-09

YANG Mingyu, ZHAO Yang, TAO Yichun, et al. Human computer interaction control device for manned submersible: 201721626929 [P]. 2018-11-09

[25] 丁玉兰. 人机工程学 [M]. 4版. 北京: 北京理工大学出版社, 2011

DING Yulan. Man machine engineering [M]. 4th ed. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2011

[26] TOWNSEND J T, ASHBY F G. Methods of modeling capacity in simple processing systems [J]. Cognitive Theory, 1978, 3: 202

[27] WOLTZ D J, WAS C A. Availability of related long-term memory during and after attention focus in working memory [J]. Memory & Cognition, 2006, 34(3): 673. DOI: 10.3758/BF03193587

[28] 邱小琴. 青年急性冠状动脉综合征病人入院 72 h 内舒适状况调查分析 [J]. 护理研究, 2009, 23(7): 1896

QIU Xiaoqin. A survey and analysis of comfort status quo of young patients with acute coronary syndrome within 72 hours after hospitalization [J]. Chinese Nursing Research, 2009, 23(7): 1896. DOI:10.3969/j.issn.1009-6493.2009.21.009

[29] 程芳, 王玉娟, 王薇. 头颈部肿瘤患者放射治疗期间舒适水平及其影响因素的研究 [J]. 中华护理杂志. 2014, 49(3): 305

CHENG Fang, WANG Yujuan, WANG Wei. Investigation on comfort level and influencing factors in head and neck neoplasm patients receiving radio therapy [J]. Chinese Journal of Nursing, 2014, 49(3): 305. DOI: 10.3761/j.issn.0254-1769.2014.03.013

(编辑 张 红)

封面图片说明

2022 年 6 期封面图片来自论文“潜航员认知效能驱动的作业舒适度评价方法”,是西北工业大学工业设计与人机工效工信部重点实验室陈登凯教授课题组提出的一种面向载人潜水器舱室操作系统的潜航员作业舒适度评价方法。载人潜水器是执行水下科考任务的重要设备,但其内部空间狭小,潜航员作业舒适度极为受限,导致潜航员作业安全性和作业效率受到威胁,因此开展潜航员作业舒适度研究十分必要。该方法基于潜航员典型作业任务的认知流程,辨析潜航员认知表现—效能—舒适度对应关系,形成潜航员认知效能计算方法;考虑潜航员个人特征和认知效能,采用支持向量机模型开展潜航员作业舒适度评价,获取面向载人潜水器操作系统的潜航员作业舒适度综合评价结果;最终明确操作系统中显控界面、操作面板以及通讯设备各属性特征设计的建议区间。研究结果表明,潜航员认知效能与主观舒适度具有相同的变化趋势,基于潜航员认知效能判断舱室操作系统作业舒适度的方法可行。

(图文提供:朱梦雅,陈登凯,叶聪,王憬鸾. 西北工业大学工业设计与人机工效工信部重点实验室,中国船舶科学研究中心)