

# 基于人的核心胜任力的噪声评价新方法

张晓燕<sup>1</sup>, 程嘉傲<sup>1</sup>, 薛红军<sup>2</sup>

(1.西北工业大学 航海学院, 陕西 西安 710072; 2.西北工业大学 航空学院, 陕西 西安 710072)

**摘 要:**直升机驾驶舱内的噪声环境较为恶劣,会影响飞行员的生理和心理状态,降低其核心胜任力,导致飞行失误甚至飞行事故。当前噪声评价方法能够揭示噪声的客观特性及其对人情绪等方面的影响,但是忽略了对人本质能力的影响。针对此,以任务绩效、认知负荷和眼动特征量为指标建立了基于核心胜任力的噪声评价预测模型。通过设计 45,65 和 80 dB(A)3 种直升机驾驶舱噪声水平下核心胜任力变化特性实验对所建立模型进行验证。研究结果表明:①噪声对人的核心胜任力有显著影响。随着噪声水平的升高,核心胜任力降低,任务完成可靠性显著下降;②基于核心胜任力的噪声评价方法能够准确地预测噪声变化对人的核心胜任力的影响规律。这种新的噪声评价方法能够定量反映噪声变化对人的应急事件处理能力的影响,弥补了当前噪声评价忽略任务绩效及眼动等生理指标的缺陷,提升了噪声评价的全面性和准确性,拓展了噪声评价的内涵,对于噪声控制与评价以及驾驶舱优化设计都有理论和实践意义。

**关 键 词:**噪声评价;驾驶舱噪声;噪声烦恼度;核心胜任力;认知负荷;绩效  
**中图分类号:**V19; V37      **文献标志码:**A      **文章编号:**1000-2758(2023)03-0621-05

噪声是主要的环境污染之一。直升机驾驶舱的内部同样存在着噪声。研究表明,直升机的噪声会对飞行员神经系统、循环系统、消化系统造成不同程度的影响<sup>[1]</sup>。国外直升机飞行员出现听力损害的比率在 30% 以上,我国为 20%,且同战斗机和运输机飞行员相比,直升机飞行员听力异常的发病率更高<sup>[2]</sup>。于宝成等<sup>[3]</sup>调查发现,陆航直升机飞行人员飞行周后睡眠质量降低,医学停飞率较高。陈学敏等<sup>[4]</sup>通过实验研究发现,随着军用直升机噪声强度的增加,豚鼠听力损伤加重,听力恢复的时程延长,恢复的可能性减低。在国外,Yankaskas<sup>[5]</sup>发现长期暴露在噪声环境下会引发士兵严重的听力障碍。Ageborg 等<sup>[6]</sup>发现风力涡轮机噪声会通过高频率的唤醒和降低深度睡眠比例损害飞行员的睡眠质量。

同时,直升机噪声会对语言通讯产生严重的干扰和掩盖,造成直升机机组之间或与地面指挥联络困难。同时,受到噪声的影响,飞行员的视觉、听觉和触觉等会产生“错觉”,例如对距离的判断,对声音、指令的获取、理解,对仪表等机载设备显示数值的读取,对飞行环境、气象条件的分析,对操纵杆等驾驶机构力度的掌握,对敌我人员或装备的判断识别以及对任务执行的可靠度等都会出现失误<sup>[7]</sup>。国内鲍俊平<sup>[8]</sup>经过对 10 名具有民航专业背景的男性进行飞机起落、转弯、巡航测试,结果表明当噪声增加时,被试情景意识水平逐渐下降。冯薪谕<sup>[9]</sup>发现噪声环境下,人的认知能力会受到一定程度的损害,从而干扰脑力任务。Ivković 等<sup>[10]</sup>调查发现 27.8% 的涡轮风扇飞机飞行员以及 38.5% 的涡轮螺旋桨飞机飞行员至少一次遭遇过由噪声引发的飞行安全问题。Monteiro 等<sup>[11]</sup>发现工作环境中的噪声会影响人的短时记忆降低人的专注度,增加错误率和反应时。Asakura 等<sup>[12]</sup>发现飞行噪声的频率特性会同时影响飞行员的主观认知和操作准确性。

很多学者基于噪声对人的影响开展了噪声评价方法的研究。叶睿等<sup>[13]</sup>通过噪声烦恼度的方法对直升机噪声进行了评价;李豪等<sup>[14]</sup>从听觉感知的角

度进行了噪声特性的语义描述和分析;张珺等<sup>[15]</sup>从听觉感知的角度出发,研究了典型噪声的烦恼度及感知空间。Lukács<sup>[16]</sup>对驾驶舱噪声评价模糊系统的去模糊化方法进行了比较。Flindell 等<sup>[17]</sup>将飞行器噪声与烦恼度以及干扰度进行了联系。Lee 等<sup>[18]</sup>从声压级角度对宽体飞机驾驶舱内噪声进行了评价。

综上,直升机噪声已经严重影响了飞行员的身体健康和飞行安全。目前的研究能够对噪声的客观物理特性及其对人的烦恼度等情绪状态的影响进行评价,且有学者已经开始初步研究噪声与人的任务绩效、认知能力等之间的关系。飞行员的核心胜任力是与飞行效能和任务完成绩效密切相关的核心能力指标,当前噪声评价方法并没有建立两者之间的联系。因此,本文将建立多模态的核心胜任力评价模型,以此为基础评价噪声对人的核心能力的影响。这种新的评价方法拓展了噪声评价的研究内涵,能够为驾驶舱的噪声评价与控制提供新的思路。

## 1 基于核心胜任力的噪声评价方法

胜任力的概念自 1973 年由 Mc Clelland 提出之后,经过一系列发展将其定义为:知识、能力与技能<sup>[19-20]</sup>。飞行员核心胜任力即其对当前所呈现信息的感知、加工与反馈的能力。2017 年 ICAO 提出了基于胜任力的飞行员循证训练指导要求,其中将问题解决、情景意识及工作负荷作为核心胜任力的 3 项基本指标。基于此,本文中表征核心胜任力的一级指标为任务绩效、情景意识、认知负荷等 3 个方面。任务绩效即问题解决,为飞行员完成当前任务的能力,包括任务完成的时间及完成的正确性,因此本文将其表征为反应时间及任务完成正确率。认知负荷可通过工作负荷表征,本文采用广泛接受的 NASA-TLX 方法测量飞行任务过程中飞行员的认知负荷。情景意识能够表征飞行员对当前环境的理解及对未来环境的理解,本文采用眼动数据进行表征<sup>[21-22]</sup>。本文在使用 3D-SART 问卷对情景意识进行主观测量的同时,以眨眼频率、注视频率和眼跳频率等眼动特征量来从客观角度测量情景意识。

综上,核心胜任力表征如(1)式所示。

$$I = \alpha_1 T_R + \alpha_2 A_C + \alpha_3 N + \alpha_4 f_B + \alpha_5 f_F + \alpha_6 f_S \quad (1)$$

式中: $T_R$ 和 $A_C$ 分别为任务绩效测量指标中的反应时和任务完成正确率; $N$ 为认知负荷; $f_B$ 、 $f_F$ 和 $f_S$ 分别为

眨眼、注视和眼跳频率; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ 和 $\alpha_6$ 为各指标的权重系数。

## 2 实验与模型验证

### 2.1 实验设计

#### 2.1.1 被试

在 80%统计效力及 5%显著水平情况下检测出 20 这一中度大小的效应量。因此本实验通过线上宣传的方式从西北工业大学招募了 30 名在校学生以满足本研究基于组内实验设计方式的统计需求。所有被试视力正常,无色盲、色弱,没有认知障碍,会读写中文,心智正常,有正常的肢体运动能力。在实验前,所有被试都签署了实验知情书,掌握了基本的与本实验相关的飞行技能,确保熟悉实验流程及实验过程。

#### 2.1.2 实验设备和实验设计

实验界面由 Qt Creator 设计,模拟直升机驾驶舱内的人机交互界面,如图 1 所示。

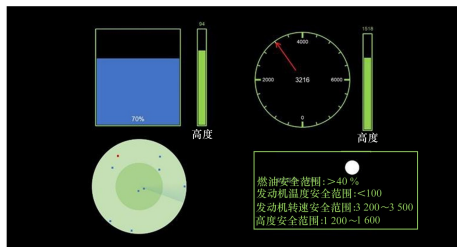


图1 实验界面

实验中眼动数据是由德国 SMI 公司的 iView X 桌面式眼动仪采集。噪声信号由 HEAD acoustic 功率放大器以及森海塞尔 HD 600 高保真耳机生成。噪声来源于录制的真实直升机舱内噪声,出于对被试听力的保护和真实噪声环境的模拟,原声由 ArtemiS 和 MATLAB 软件进行处理并生成了 3 种噪声水平(45, 65, 80 dB(A))。

本实验设置 3 种任务难度,被试需要在不同噪声水平的环境中完成不同难度的任务,如表 1 所示。飞行员核心胜任力在危急状态最能体现,因此实验任务设置为飞行过程的异常信息处理。在实验中,被试需要按照飞行需求,监控实验飞行界面,当危险信息出现时,迅速排查界面上出现的敌机信息或故障信息。为了充分模拟真实飞行环境,危险信息的种类和出现位置由随机发生器控制,不同种类和位

置的危险信息会间隔随机时长后出现。在危险信息出现后,被试有 30 s 的时间对信息进行识别、判断和处理。本实验的危险信息包括敌机信息和故障信息 2 个大类,8 种信息,被试需要在发现敌机信息或故障信息后,迅速按下对应按键进行处理,如表 2 所示。无论操作正确与否,仪表界面都会恢复正常,并在一段随机间隔后,再次产生危险信息。单次实验用时约 15 min。

| 表 1 任务难度 |                      |
|----------|----------------------|
| 难度等级     | 描述                   |
| 简单(Ⅰ级)   | 信息提示灯工作并通过颜色指明危险信息类型 |
| 中等(Ⅱ级)   | 信息提示灯工作但不指明危险信息类型    |
| 困难(Ⅲ级)   | 信息提示灯不工作             |

表 2 危险信息类型及处理方法

| 危险信息类型 |            | 操作(按键) |
|--------|------------|--------|
| 敌机     | 敌机数量超过 2 架 | “0”    |
|        | 敌机距离过近     | “.”    |
|        | 燃料不足       | 方向键上   |
| 故障     | 发动机转速过高    | “1”    |
|        | 发动机转速过低    | “7”    |
|        | 发动机温度过高    | 方向键下   |
|        | 飞行高度过高     | “2”    |
|        | 飞行高度过低     | “8”    |

2.1.3 实验流程和数据采集

在实验前,主试向所有被试介绍实验目的及流程,记录被试基本信息。被试在正式实验前要求其进行练习直到掌握任务操作。

在实验中,初始的实验条件为难度 I,随后 3 种噪声水平随机呈现,单一任务难度完成后,被试填写噪声烦恼度问卷<sup>[23]</sup>,NASA-TLX 主观问卷和 3-D

SART 主观问卷。任务难度Ⅱ和难度Ⅲ随机呈现。每种难度任务实验完成后被试休息 30 min。实验全程大约持续 3 h。

2.2 核心胜任能力预测模型求解

利用反应时、任务完成正确率、NASA-TLX 认知负荷值、眨眼频率、注视频率和眼跳频率等对噪声评价新模型进行求解,步骤如下:

1) 实验数据无量纲化

对于效益型指标,即数值越大越好的指标,第  $i$  个样本值表示为

$$\alpha'_i = \frac{\alpha_i - \min\alpha}{\max\alpha - \min\alpha}$$

对于成本型指标,即数值越小越好的指标,第  $i$  个样本值表示为

$$\alpha'_i = \frac{\max\alpha - \alpha_i}{\max\alpha - \min\alpha}$$

2) 回归分析确定回归系数

利用 SPSS 26.0 软件对(1)式进行线性回归分析,建立不同噪声水平下核心胜任能力与反应时、任务完成正确率、NASA-TLX 认知负荷值、眨眼频率、注视频率和眼跳频率 6 个指标之间的多元线性函数关系式,如下所示:

$$I = -0.003T_R + 0.024A_C + 0.14N + 0.351f_B + 0.053f_F - 0.088f_S$$

2.3 基于核心胜任能力评价方法的验证

噪声评价方法的验证分为 2 步,首先将 3-D-SART 主观问卷结果、噪声烦恼度和预测值进行对比分析,如图 2~4 所示。

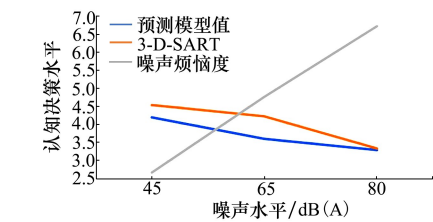


图 2 I 级难度下不同噪声环境结果对比

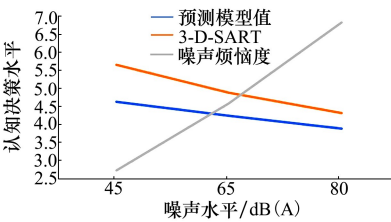


图 3 Ⅱ级难度下不同噪声环境结果对比

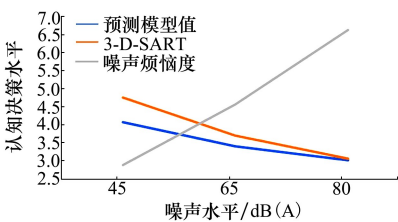


图 4 Ⅲ级难度下不同噪声环境结果对比

为进一步验证预测模型的正确性,将预测值与 3-D-SART 问卷以及噪声烦恼度问卷的测量结果进行 Pearson 相关性分析得出,预测值与 3-D-SART 得分相关系数为 0.968,呈显著正相关,与噪声烦恼度呈显著负相关。

3 结 论

本文针对当前噪声评价与人的能力之间定量影响机制不清楚的关键问题,建立了以人的核心胜任



力为指标的噪声评价新方法,这种新的评价方法明确了核心胜任力与噪声危害之间的映射关系,具体如下:

1) 建立了多模态的基于人的核心胜任力的噪声评价新方法,综合考虑了人的问题解决,工作负荷及情景意识3种能力表现。这种新的噪声评价方法弥补了当前噪声评价忽略任务绩效及眼动等生理指标的缺陷,提升了噪声评价的全面性和准确性。

2) 该噪声评价新方法建立了定量的噪声级别与人的核心胜任能力之间的映射关系,能够定量反

映噪声的变化对人的应急事件处理能力的影响,拓展了噪声评价的内涵,对于噪声控制与评价以及驾驶舱优化设计都有积极的理论支持和实践意义。

本文招募大学生作为被试,未招募飞行员,噪声对两者的影响机制可能会有差异。下一步可以飞行员为被试,在飞行模拟器中开展实验,获取更加可靠的数据。同时细化噪声水平,深化基于人的能力的噪声评价,对模型进行进一步完善。

**致谢** 感谢西北工业大学人机与环境系统工程团队的同学为本文实验所做的贡献。

## 参考文献:

- [1] 林燕. 噪声环境对直升机飞行人员的影响及防护[J]. 中国疗养医学, 2011, 20(6): 503  
LIN Yan. Impact of noise environment on helicopter pilots and protection[J]. China Rehabilitation medicine, 2011, 20(6): 503 (in Chinese)
- [2] 吴卓娟, 张玲, 徐先荣, 等. 直升机飞行员与歼击机飞行员听力比较[J]. 解放军医学院学报, 2015, 36(1): 39-41  
WU Zhuojuan, ZHANG Ling, XU Xianrong, et al. Comparative study of hearing data between helicopter pilots and fighter pilots [J]. Academic Journal of Chinese PLA Medical School, 2015, 36(1): 39-41 (in Chinese)
- [3] 于宝成, 仲伟红, 王哲, 等. 陆航直升机飞行人员睡眠质量调查[J]. 空军医学杂志, 2016, 32(6): 419  
YU Baocheng, ZHONG Weihong, WANG Zhe, et al. Sleep quality survey of aviation helicopter pilots[J]. Medical Journal of Air Force, 2016, 32(6): 419 (in Chinese)
- [4] 陈学敏, 薛鑫森, 徐瑾, 等. 某型军用直升机噪声暴露对豚鼠听功能的影响[J]. 航天医学与医学工程, 2019, 32(5): 406-411  
CHEN Xuemin, XUE Xinmiao, XU Jin, et al. Effects of a military noise exposure on auditory function of guinea pigs[J]. Space Medicine & Medical Engineering, 2019, 32(5): 406-411 (in Chinese)
- [5] YANKASKAS K. Prelude: noise-induced tinnitus and hearing loss in the military[J]. Hearing research, 2013, 295: 3-8
- [6] AGEBOG MORSING J, SMITH M G, ÖGREN M, et al. Wind turbine noise and sleep: pilot studies on the influence of noise characteristics[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018, 15(11): 2573
- [7] 张冀, 李书, 贺天鹏, 等. 直升机振动与噪声综合评估方法研究[J]. 振动与冲击, 2016, 35(1): 149-154  
ZHANG Ji, LI Shu, HE Tianpeng, et al. Comprehensive assessment methods for helicopter vibration and noise[J]. Journal of Vibration and Shock, 2016, 35(1): 149-154 (in Chinese)
- [8] 鲍俊平. 驾驶舱噪声对飞行员情景意识的影响研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2019: 35-64  
BAO Junping. Research on the influence of cockpit noise on pilot situation awareness[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2019: 35-64 (in Chinese)
- [9] 冯薪渝. 室内环境噪声对认知能力影响的实验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014: 56-57  
FENG Xinyu. Experimental research of the effects of indoor noise on cognitive ability[D]. Chongqing: Chongqing University, 2014: 56-57 (in Chinese)
- [10] IVKOVIĆ M, VUKIĆ V, IVOŠEVIĆ J. Exploration of the impact of the long-term exposure to aircraft cabin noise on pilot staff [C]//5th International Ergonomics Conference, 2013: 12-15
- [11] MONTEIRO R, TOMÉ D, NEVES P, et al. The interactive effect of occupational noise on attention and short-term memory: a pilot study[J]. Noise & Health, 2018, 20(96): 190
- [12] ASAKURA T, TAKAGI Y. Case study: effect of acoustic characteristics of interior aircraft noise on pilot[J]. Noise Control Engineering Journal, 2020, 68(2): 125-136
- [13] 叶睿, 陈克安, 闫靓, 等. 音频注入下的飞机舱内噪声烦恼感抑制与评价[J]. 噪声与振动控制, 2021, 41(6): 141  
YE Rui, CHEN Kean, YAN Liang, et al. Annoyance suppression and evaluation of aircraft cabin noise based on audio injection approach[J]. Noise and Vibration Control, 2021, 41(6): 141 (in Chinese)
- [14] 李豪, 陈克安, 尹秋阳, 等. 听觉感知中的噪声特性语义描述及其分析[J]. 应用声学, 2023, 42(1): 18-25  
LI Hao, CHEN Kean, YIN Qiuyang, et al. Semantic description and analysis of noise characteristics in auditory perception[J]. Journal of Applied Acoustics, 2023, 42(1): 18-25 (in Chinese)
- [15] 张珺, 陈克安, 郑如玥. 几类典型环境声的主观评价及感知特性分析[J]. 应用声学, 2021, 40(2): 213-219

ZHANG Jun, CHEN Kean, ZHENG Ruyue. Subjective evaluation and perceptual characteristics analysis of several typical ambient sounds[J]. Journal of Applied Acoustics, 2021, 40(2): 213-219 (in Chinese)

[16] LUKÁCS J. Comparison of defuzzification methods for cabin noise prediction of passenger cars [C] // 2019 IEEE 17th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, 2019

[17] FLINDELL I, LE MASURIER P, LE MASURIER H. Resolving uncertainties in understanding community attitudes to aircraft noise[J]. Applied Acoustics, 2021, 178: 108032

[18] LEE H P, KUMAR S, GARG S, et al. Assessment of in-cabin noise of wide-body aircrafts [J]. Applied Acoustics, 2022, 194: 108809

[19] MC CLELLAND D C. Testing for competence rather than for intelligence[J]. American Psychologist, 1973, 28: 1-14

[20] 田磊. 基于胜任力模型的 UPRT 训练与评估程序开发[D]. 广汉: 中国民用航空飞行学院, 2018

TIAN Lei. UPRT training and evaluation program development based on competence model[J]. Guanghan: Civil Aviation Flight University of China, 2018 (in Chinese)

[21] MOORE K, GUGERTY L. Development of a novel measure of situation awareness: the case for eye movement analysis [C] // Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2010: 1650-1654

[22] HAULAND G. Measuring team situation awareness by means of eye movement data [M]. Boca Raton: CRC Press, 2019: 230-234

[23] 党博, 陈克安, 张珺, 等. 一种吸油烟机声品质满意度分级限值评定方法[J]. 应用声学, 2021, 40(5): 691-697

DANG Bo, CHEN Kean, ZHANG Jun. A Satisfaction grading and evaluation limiting method for the sound quality of range hood [J]. Journal of Applied Acoustics, 2021, 40(5): 691-697 (in Chinese)

A novel noise assessment method based on human core competency

ZHANG Xiaoyan<sup>1</sup>, CHENG Jiaao<sup>1</sup>, XUE Hongjun<sup>2</sup>

(1.School of Marine Science and Technology, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; )  
(2.School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China )

**Abstract:** The tough noise environment in helicopter cockpit can passively influence pilots in mental and physical way, weaken their core competency, and as a result, maybe causing pilot error and even accidents. The current research can evaluate the physical characteristics of noise and its impact on emotion such as noise annoyance, but it ignores the impact of cockpit noise on human competence. Therefore, this paper establishes a noise evaluation and prediction model based on core competence with task performance, cognitive load and eye movement data. Experiment is designed and implemented in three noise levels and three task difficulties to verify the model. The results indicate that: 1) core competency and task accuracy decline in higher noise levels significantly. 2) the noise assessment method based on core competency can accurately predict the influence of noise on human performance. This novel method can quantitatively reflect the impact of noise changes on human performance in emergency condition. It can expand the connotation of noise evaluation, provide the evaluation and control of cockpit noise with theoretical explanations, and provide the optimization design of helicopter cockpit with practical data.

**Keywords:** noise assessment; cockpit noise; noise annoyance; core competency; cognitive load; task performance

**引用格式:** 张晓燕, 程嘉傲, 薛红军. 基于人的核心胜任力的噪声评价新方法[J]. 西北工业大学学报, 2023, 41(3): 621-625

ZHANG Xiaoyan, CHENG Jiaao, XUE Hongjun, et al. A novel noise assessment method based on human core competency [J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2023, 41(3): 621-625 (in Chinese)