

直升机座舱显示界面人机工效评估应用

谷小乐¹, 赵云², 陈玲¹

(1. 中国直升机设计研究所, 江西 景德镇 333001; 2. 陆装驻景德镇地区航空军代室, 江西 景德镇 333001)

摘要: 直升机座舱显示界面工效评估的目的是在型号工程研制早期能快速发现界面设计中存在的缺陷, 并反馈给设计进行修改。本文在直升机座舱显示界面的设计阶段, 综合运用静态评估和动态评估方法, 进行直升机座舱显示界面工效综合评估, 得出直升机座舱显示界面工效评估结果, 与传统邀请飞行员进行对直升机座舱显示界面文件评审方法相比, 此方式更能及时和多维度对直升机座舱显示界面及操作逻辑进行合理评估, 从而提高直升机座舱显示界面设计水平。

关键词: 直升机座舱; 界面设计; 工效评估

中图分类号: V223

文献标识码: A

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2023.14.031

国内外研究较多聚焦于座舱整体评估上, 针对飞机座舱显示界面综合评估的资料较少。美国航空航天局 Ames 研究中心的 Theodore 等人对飞行显示界面的评估展开了研究^[1]。日本筑波大学的 Inagaki 基于飞行员认知模拟器对飞机人机交互界面进行了定性评估^[2]。土耳其加齐大学的 Senol 等人对飞机人机交互界面的定量和定性评估展开了研究^[3]。Craig 等人采用 CH 量表评估显示器的一致性、信息可读性、屏幕信息布局、信息明确性、控制器设计的合适性等^[4]。

国内关于座舱人机交互界面工效评估的研究通常是借助于简化模型进行, 并结合使用专家评估法或其他一些较为主观性的评估形式, 这些评估形式缺少足够的规范性。北京航空航天大学以歼击机的座舱人机交互界面工效评估为背景提出了一种新的综合评估方法体系, 考虑了工效学评估的模糊性, 能较客观、科学地对飞机座舱工效学进行定量的综合评估^[5]。南京航空航天大学针对 ARJ21 飞机维修工效和驾驶工效, 建立了民用飞机维修工效指标体系和综合评估模型, 对民机的座舱人机交互界面工效进行了综合评估^[6]。空军工程大学的郭赞等人分析了影响直升机显示界面人机交互界面工效的因素, 并运用德尔菲法建立了显示界面人机交互界面工效指标体系; 最后运用 G1 法确定了各指标的权向量, 并在此基础上运用模糊综合评判法对指标体系进行了评估^[7]。

我国的座舱显示界面研究起步较晚, 并主要体现在工效分析和评估主要单独依据专家的主观感受或类似装备的经验数据上, 缺乏科学性和规范性; 国内研究多集中于民用运输机, 缺少对直升机座舱人机交互界面工效系统的应用研究。因此, 本文针对直升机座舱显示界面人机工效的评估展开研究。

1 直升机座舱人机交互界面工效评估方法

根据评估场景的动静态属性特征划分, 直升机座舱人机交互界面工效评估方法可分为静态评估方法、动态评估方法、综合评估方法三大类。

1.1 静态评估方法

该方法应用于静态评估场景, 评估人员对座舱人机界面设计情况进行观察分析与检查评分, 主要包括问卷调查表法、观察分析法、检查量表法等。

1.2 动态评估方法

该方法应用于以飞行任务为基础的动态评估场景, 评估人员由工程师和飞行员构成, 飞行员根据评估计划执行飞行任务(包括模拟器试验与真机试飞), 工程师利用测量仪器实时记录指标参量数据, 任务执行完毕后飞行员接受询问, 并填写对应量表与问卷, 主要包括实验测量法、模型试验法、问卷调查表法、评估量表法等。

1.3 综合评估方法

该方法应用需结合动静态评估场景, 旨在客观全面地反映直升机通用化座舱人机交互界面工效设计水平, 主要包括模糊综合评估法、线性加权综合法、非线性加权综合法、增益型线性加权综合法、理想点法等。

不同评估方法的选用需针对不同评估目标, 考虑评估条件的可行性和对评估任务的适用性, 并且融入到评估场景的设计中。从静态评估方法、动态评估方法、综合评估方法三方面对直升机通用化座舱人机交互界面工效评估方法进行研究, 给出不同方法的基本原理和应用指南, 为下一步工效评估试验的开展奠定基础。

问卷调查表是获得主观评估资料最基本的方法, 是一项主观评估方法, 设计一份问卷调查表需要设计者对被评估系统有

足够的背景知识。

观察分析评估法的优点是客观真实，局限性在于评估时机滞后，是一种间接的评估方法。

模型试验法是利用各种技术和装置的模拟，对某些系统进行逼真的试验，以得到所需要的接近实际情况中数据的方法。优点是可以控制实验条件和实验范围，不易受到其他因素的干扰，准确性较高，可以再现实验过程和结果。

评估量表法包括 Cooper-Harper 评定量表法、SWAT 量表法、NASA-TLX 量表法等，常用于座舱人机界面工作负荷的评估中，飞行员根据执行任务的体验，对照量表中的不同等级对工作负荷进行主观评估。NASA-TLX 的六项指标之间相互关联，使主观理解正确，不易混淆，结果明晰，本次研究评估量表法可采用 NASA-TLX 量表法。

综上，统筹考虑评估的准确性和工程实施的可操作性，本次可采用问卷调查表、评估量表法结合模型试验法对直升机座舱显示界面进行评估。

2 直升机座舱界面工效评估系统与实验设计

根据开展直升机座舱人机交互界面工效评估的需要，本次研究给出工效评估系统与实验设计思路。

2.1 工效评估系统

工效评估系统由直升机仿真座舱、直升机飞行仿真系统和生理参数测量系统组成。

(1) 直升机仿真座舱

直升机仿真座舱由座舱外壳、显示系统、座椅、总距杆、驾驶杆及脚蹬组成。其中显示系统主要包括用于显示视景和各种平显信息的液晶显示器，在其正下方是实现前上方显示与多功能显示的触摸屏，采用“T”字形的布置方式，正前方用于显示实时飞行场景的投影幕布。



图1 工效评估仿真验证环境效果示意图

(2) 直升机飞行仿真系统

直升机飞行仿真系统由系统管理及航电任务仿真系统、传

感器仿真系统、座舱界面仿真程序、视景系统和操纵系统等组成。操纵装置采集来的数据经 A/D 转换，作为直升机方程的气动力参数输入到直升机气动系统模型进行解算。直升机气动系统采用典型直升机气动方程进行实时解算，并驱动座舱界面仿真系统进行显示。同时，为更加真实地模拟实际飞行状态，还设计了视景仿真系统、传感器仿真系统、航电任务仿真系统。视景仿真系统的建模包括直升机仿真模型、机场及其附近的地形如丘陵、公路、城镇、湖泊、树木等，该模块通过与操纵系统的交互，读取直升机气动系统解算出的数据，驱动视景系统运行，完成对直升机飞行状态的实时仿真，并将其显示在座舱前方的投影幕布上。

(3) 生理参数测量系统

生理参数测量系统可实时测量飞行员的眼动、心电、呼吸等生理参数，通过计算分析测量数据，评估飞行员的工作负荷。

2.2 工效评估实验设计

工效评估实验包括两个部分内容：显示界面工效设计水平评估及基于飞行任务的工作负荷评估。其中显示工效设计水平评估可采用静态评估方法；基于飞行任务的工作负荷评估采用动态评估方法。

(1) 显示工效设计水平评估

选取六个典型的直升机座舱界面（飞行、机电、飞控、气象、地图、态势界面）进行演示。由飞行员针对界面显示信息、显示方式、显示布局等方面进行工效设计评估。可参照民航驾驶舱人机工效评估指标体系方法对直升机座舱交互界面进行评估量表设计^[8]。

(2) 基于飞行任务的工作负荷评估

在仿真平台上动态仿真界面和飞行任务时的显示和控制部件，评估界面显示的合理性和操作的逻辑性，根据 NASA-TLX 工作负荷评估量表，飞行员进行主观评价评分；同时用眼动仪、生理参数测量仪器对飞行员执行任务过程中的生理数据进行采集，对工作负荷进行客观评估。

执行任务前，飞行员佩戴人体生理数据采集装置和眼动仪，完成眼动仪的校准，并熟悉相关飞行操作。

执行任务过程中，对飞行员的眼动、心电、脉搏等生理参数进行实时测量。

执行完任务后，为给测量仪器数据提供辅助参考，飞行员对工作负荷进行主观评估，步骤如下。

Step 1 飞行员根据执行飞行任务的体验，对脑力要求、体力要求、时间要求、成绩、努力、挫败感这六个因素进行两两比较，每次比较中都需选择自认为的对任务负荷影响更为重要的因素。

表1 直升机座舱人机交互界面功效设计评估量表（飞行界面）

总因子	一级评估因子	二级评估因子	三级评估因子	评语	
人机交互界面显示与操作工效设计水平	显示信息	内容	内容完整性	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□	
			内容简洁性	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□	
			内容可判读性	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□	
	显示方式	字符	字符尺寸	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□	
			字符间距	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□	
			字符线宽	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□	
			字符颜色	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□	
			字体	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□	
			图符	图符尺寸	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□
				图符分辨率	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□
	图符颜色	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□			
	显示布局	位置	指针方向逻辑性	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□	
			功能分区明显性	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□	
			功能分区逻辑性	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□	
界面整体感观				排列整齐性	优□ 良□ 中□ 次□ 劣□
				优□ 良□ 中□ 次□ 劣□	

Step 2 飞行员根据执行飞行任务的体验，分别从脑力要求、体力要求、时间要求、成绩、努力、挫败感这六个不同方面进行评分，在对应的刻度点上画“×”表示选中该指示分数。

3 评估试验数据处理和分析

3.1 主观评估数据的处理和分析

飞行员对画面中的评估因子进行优、良、中、次、劣评价，优、良、中、次、劣评语分别对应 10、8、6、4、2 分。针对每项评估因子对四名飞行员的打分情况求平均值，得

到每项评估因子的打分结果，打分结果位于（2，4）表明该项评估因子工效设计水平为劣，打分结果位于（4，6）表明该项评估因子工效设计水平为次，打分结果位于（6，8）表明该项评估因子工效设计水平为中，打分结果位于（8，9）表明该项评估因子工效设计水平为良，打分结果位于（9，10）表明该项评估因子工效设计水平为优。

3.2 客观评估数据的处理和分析

（1）眼动数据的处理和分析

不同飞行员在不同任务阶段的眨眼频率、眨眼时间、瞳孔直径数据统计如下图 2 至 4 所示。

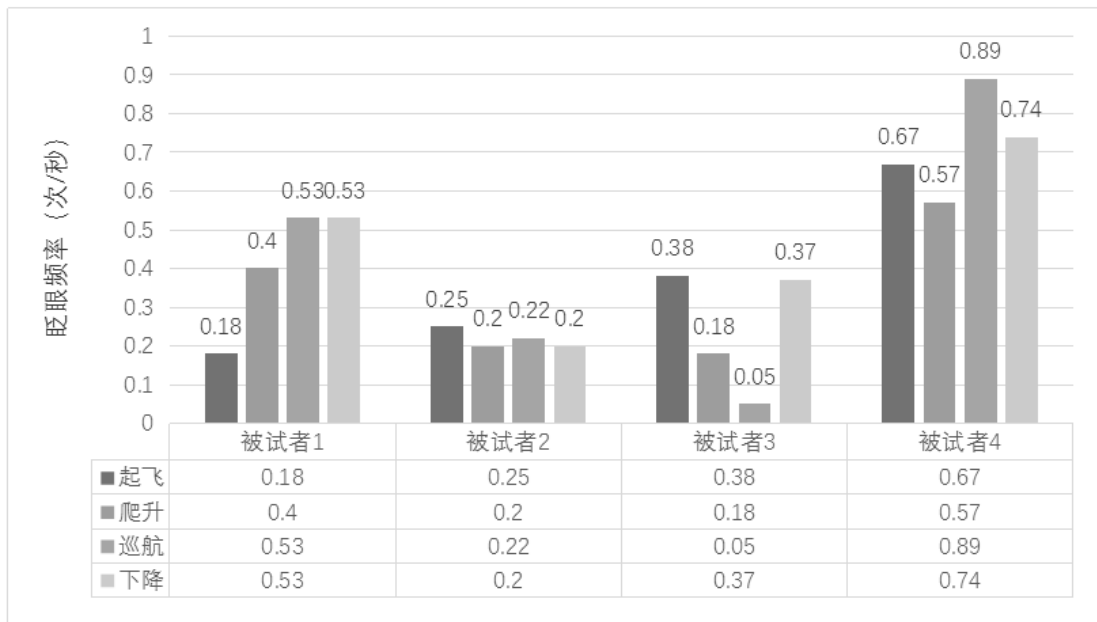


图2 眨眼频率

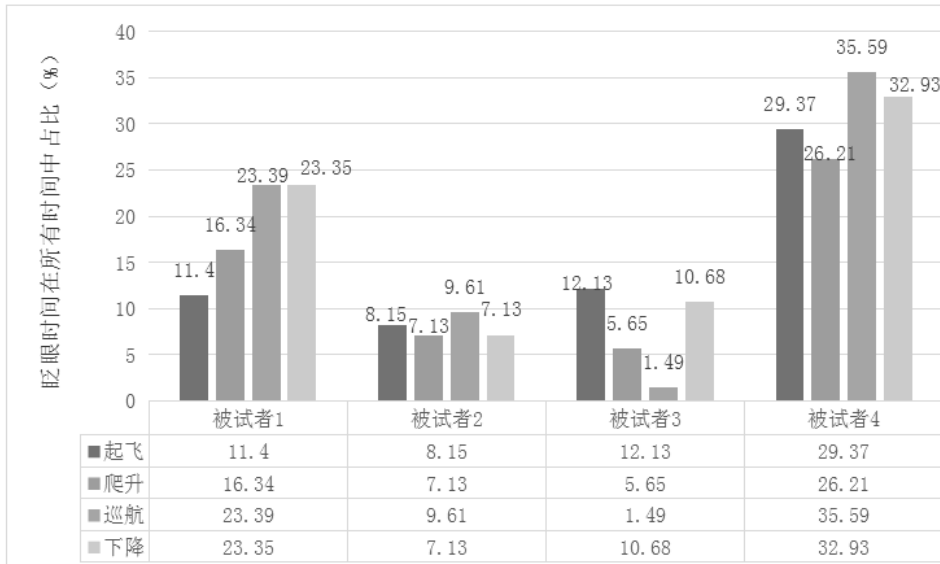


图3 眨眼时间

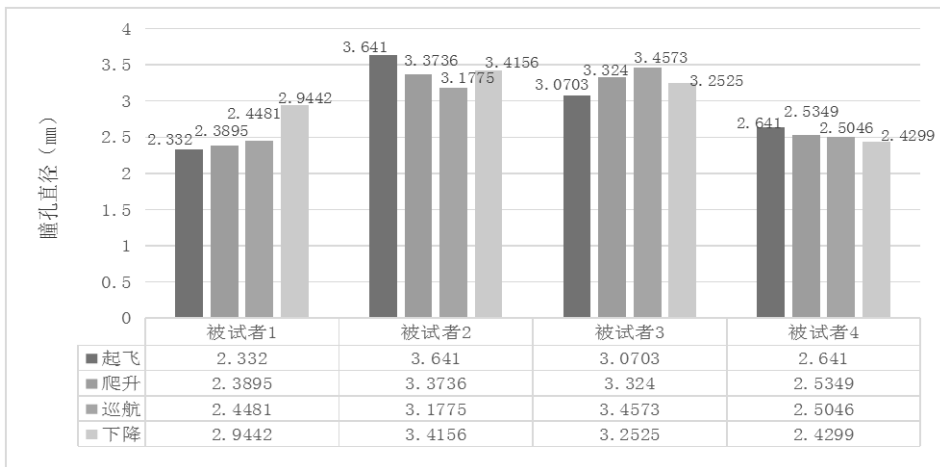


图4 瞳孔直径

飞行员在起飞和下降阶段的平均眨眼频率较高，在爬升和巡航阶段的平均眨眼频率较低。飞行员在起飞和下降阶段的平均眨眼时间较长，在爬升和巡航阶段的平均眨眼时间较短，表明以眨眼时间、眨眼频率、瞳孔直径为衡量指标时，飞行员在起飞和下降阶段的工作负荷较低，在爬升和巡航阶段的工作负

荷较高。

(2) 心电和呼吸数据的处理和分析

一般来说，随着工作负荷的增加，被试者的心率和呼吸频率会增加。四位飞行员在不同飞行阶段的心率和呼吸频率数据如图5至6所示。

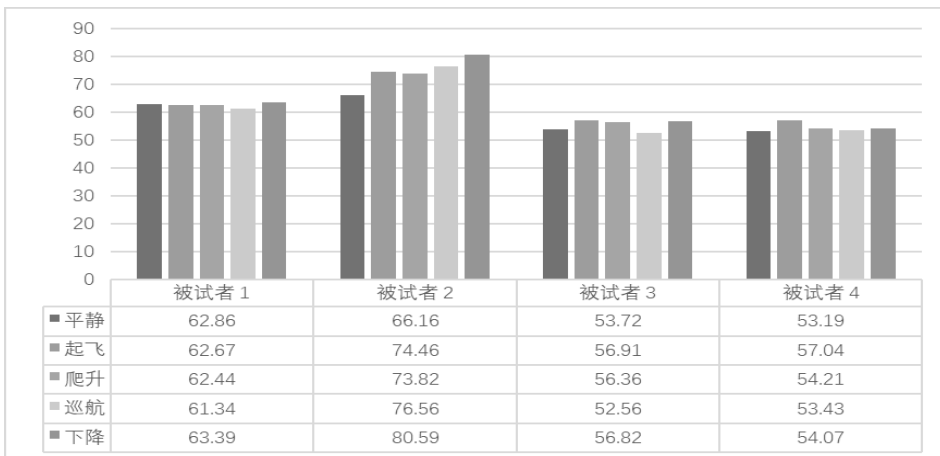


图5 心率平均值

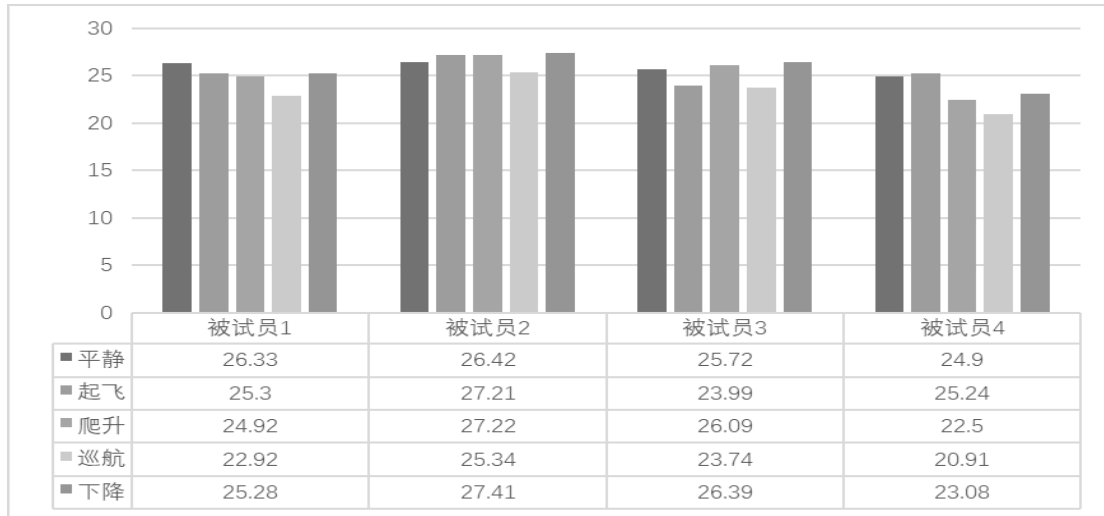


图 6 呼吸频率平均值

飞行员在不同任务阶段的心率平均值和呼吸频率平均值数据未表现出明显的差异性，难以通过心率和呼吸特征区分高负荷和低负荷飞行阶段，表明执行飞行任务未给飞行员带来过高的工作负荷。

4 结语

本文总结了国内外飞行驾驶舱人机工效评估研究现状，分析了国内直升机座舱界面工效评估存在的问题，对直升机座舱人机交互界面工效评估方法进行了应用研究，最后通过演示仿真和飞行仿真，应用人机交互界面工效评估方法，对直升机座舱界面显示工效设计水平、基于飞行任务的工作负荷进行了评估，并对试验数据进行了分析处理，对直升机座舱显示界面人机工效评估工程应用具备一定的参考意义。

参考文献：

[1]Rozovski D, Theodore C R. Evaluation of the Rotational Throttle Interface for Converting Aircraft Utilizing the NASA Ames Vertical Motion Simulator[C]. American Helicopter Society 67th Annual Forum. 2011.

[2]Inagaki T. Adaptive Automation: Sharing and Trading of Control[J]. 2003, 2001 (2): 311-328.

[3]Senol M B, Dadevren M, Kurt M, et al. Evaluation

of cockpit design by using quantitative and qualitative tools[C]. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. IEEE, 2009: 847-851.

[4]Craig J R, Burrett G L. The design of a human factors questionnaire for cockpit assessment[C]. International Conference on Human Interfaces in Control Rooms, Cockpits and Command Centres. IET, 1999: 16-20.

[5]李银霞, 杨锋, 王黎静, 等. 飞机驾驶舱工效学综合评估研究及其应用[J]. 北京航空航天大学学报, 2005, 31 (06): 652-656.

[6]刘启越, 孙有朝. 基于虚拟仿真的民机驾驶舱人机交互界面工效评估技术研究[J]. 中国民航飞行学院学报, 2014, 25 (02): 8-11.

[7]郭赞, 郭定, 杨俊超, 等. 直升机驾驶舱显示界面人机交互界面工效指标体系评估研究[J]. 电光与控制, 2011, 18 (05): 67-71.

[8]徐玮瞳, 张颖, 董磊. 民机驾驶舱触控显示系统人机工效评估指标体系搭建研究[J]. 航空电子技术, 2021, 52 (02): 1-5.

作者简介：谷小乐（1991-），男，江西抚州人，工程师，硕士研究生，主要从事直升机航电系统设计研究。