

# 振动环境下直升机座舱显示器周边键的工效学实验

何 荣 光, 郭 定, 杨 俊 超, 史 越

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

**摘 要:**直升机座舱显示器周边键的工效学设计对于改善直升机操控性能有重要作用,在振动环境下其工效学特性的研究是该领域研究的薄弱环节。本研究在研制的直升机座舱实验平台上,设计了振动环境下直升机座舱显示器周边键的工效学实验。通过分析实验数据发现:按键反应时受按键方位和大小影响,无振动时,按键大小为 10 mm 即可;主振为 23 Hz,振幅为人体稍感振动时,按键大小应增加 25% 以上,即 13 mm,按键间隔以 10 mm 为宜;振动造成错误率上升和反应时延长,应控制在适当范围。

**关键词:**直升机座舱;显示器周边键;振动环境;工效学实验

**DOI:**10.3969/j.issn.1009-3516.2010.01.004

**中图分类号:** V219 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)01-0015-04

直升机座舱显示器周边键是座舱中重要的控制界面之一,其尺寸、方位、排列的工效学设计问题已受到人机工效研究专家的高度关注<sup>[1]</sup>。由于直升机独特的气动特性,与固定翼飞机的振动环境相比,其振动有显著的特点<sup>[2]</sup>。目前针对振动环境下直升机座舱显示器周边键的工效研究尚未深入进行<sup>[3]</sup>。因此,设计相关实验进行振动环境下直升机座舱显示器周边键的工效学问题研究具有重要的理论和实际应用价值。

## 1 建立直升机座舱模拟实验平台

根据实验要求建立一个直升机座舱实验平台及相关的设备和软件。

### 1.1 建立振动源

1) 振动频率。直升机的振动频率主要集中在 20 Hz 附近(见文献[2]图 1),此区间振幅大,对座舱操控的影响突出,因此,决定将 1 400 r/min 的电机改造为振动源,频率约为 23.3 Hz,满足实验要求。

2) 振动强度。振动强度主要与振动源的功率和振动源在模拟实验平台所处的位置相关。经过研究,将振动源安装在座椅后下方铁梁上。经实际测试采用功率 1.5 匹(约 1 103 W)电机带动振动源。

### 1.2 实验仪器与测试软件

实验仪器采用定位精确的触摸屏,反应时间小于 2 ms。实验软件可根据实验设计的内容来模拟各种尺寸、间隔的周边键进行试验,并记录反应时。软件采用 VB2005 Express 编写,此开发平台界面友好,便于调试。考虑到实时性,运行软件的主机 CPU 为双核 2.4 GHz,内存 1 G 以上。

### 1.3 保护措施

振动环境会对设施和设备造成损伤。为了防止实验无法继续进行,本实验对模拟测试平台进行了相关设备的减振和防护工作。

\* 收稿日期:2009-06-29

作者简介:何荣光(1975-),男,陕西西安人,讲师,主要从事航空人机工效与维修保障研究;

E-mail:herongguang@163.com

郭定(1950-),男,浙江温州人,教授,主要从事人机工效、工业心理学与管理学研究。

## 2 实验设计

### 2.1 实验 1: 按键大小和方位效应的实验

挑选 12 个大学生作为被试,要求矫正视力正常,身体健康,年龄 18-24 岁。模拟座舱显示器为标准型,正方形,显示区域边长为 122 mm,在显示器的各边中间各有一键,键的大小可分别设为 7 mm、10 mm、13 mm、17 mm,分别称为项目 1、项目 2、项目 3、项目 4。

实验时,要求被试在座椅上端坐,右手放在模拟座舱的把手位置,在显示器中间呈现箭头时用右手食指根据箭头方向尽快按压正确的按键,参见图 1(a)。为了对比分析振动环境与无振动环境下按键大小和方位效应的区别和联系,需要分别进行以下 2 组实验:

#### 2.1.1 无振动环境下的实验

按要求共做 120 次,每次间隔时间 2 s,每次记录反应时、正确性。分别按项目 1、2、3、4 完成实验,先后顺序是随机的,总共完成 12 人次,收集所有数据,形成实验 1 的第 1 组数据。

#### 2.1.2 振动环境下的实验

在振动环境下进行以上 4 个项目的相关实验,收集所有数据,形成实验 1 的第 2 组数据。

### 2.2 实验 2: 按键间隔和方位效应的实验

此实验的人员和实验设备同前,模拟座舱显示器尺寸同前,但是各边有 4 键,大小定为 13 mm。实验的基本方法就是在显示器上每隔 2 s 呈现一个三角形,位于 16 个键的内边,并随机指向某键,要求被试尽快用右手食指按三角形指向的键,见图 1(b)。

为了便于进行对比分析,我们也分别进行了无振动环境与有振动环境下的 2 组实验。

#### 2.2.1 无振动环境下的实验

间距有 3 种:5 mm、10 mm 和 16 mm,分被称为项目 1、项目 2、项目 3。每个被试做 3 个项目的实验,均 30 次。收集数据形成实验 2 的第 1 组数据。

#### 2.2.2 振动环境下的实验

在振动环境下进行以上 3 个项目的实验,收集数据形成实验 2 的第 2 组数据。

## 3 分析和讨论

完成实验后,对数据作适当处理,删除反应时小于 300 ms 或大于 1 000 ms 的数据,再删掉反应错误的数据和第 1 个反应数据。实验 2 关于间隔和方位效应的实验,应选择中间两键进行分析,因为两侧的键在 3 种键间隔条件下离被试食指起始位置的距离差异较大,会和键间隔变量混淆,所以删除对两侧键的反应时。

### 3.1 振动环境下的按键大小和方位效应

对实验 1 的第 1 组数据和第 2 组数据进行统计,分别得出无振动和振动环境下时按键尺寸和方位对反应时的影响,见图 2,并可得以下结论:

#### 1) 按键方位对反应时有显著效应

上边和左边键的反应时没有显著差异, ( $t_B(6, 11) = 1.22, P = 0.18$ ); 下边和右边键的反应时没有显著差异, ( $t_B(6, 11) = -1.21, P = 0.47$ ); 类似于前面的结果,右手对右方、下方刺激的选择反应快于对左方、上方的选择反应,可表示为  $T_R(\text{左}) \approx T_R(\text{上}) > T_R(\text{右}) \approx T_R(\text{下})$ 。因此振动与否对此没有影响。

#### 2) 按键尺寸对反应时存在一定影响

7 mm 尺寸按键的反应时与 10 mm 尺寸的反应时有显著差异 ( $t_B(3, 11) = 7.86, P < 0.000 1$ ), 10 mm 尺

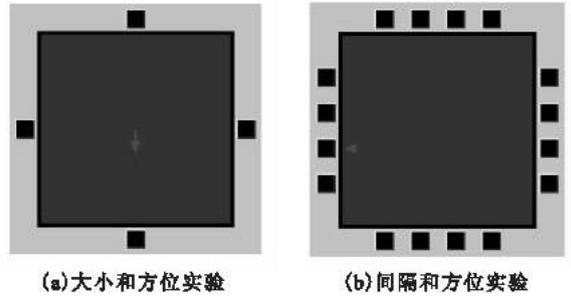


图 1 实验界面

Fig. 1 Interface of experiment software

寸与 13 mm 尺寸有显著差异( $t_B(3,11) = 7.92, P < 0.0001$ ), 而 13 mm 尺寸与 17 mm 尺寸没有显著差异( $t_B(3,11) = 0.99814, P > 0.3394$ )。在振动时按键大于 13 mm 再增大也不会提高效率。

### 3) 按键尺寸与方位交互作用不显著

振动环境下按键大小和方位之间的作用对于反应时的影响不大, ( $F(6,66) = 1.85, P = 0.102$ )。

## 3.2 振动环境下的按键间隔和方位效应

对实验 2 的第 1 组数据和第 2 组数据进行统计, 分别得出无振动和振动环境下按键间隔和方位对反应时的影响, 见图 3。

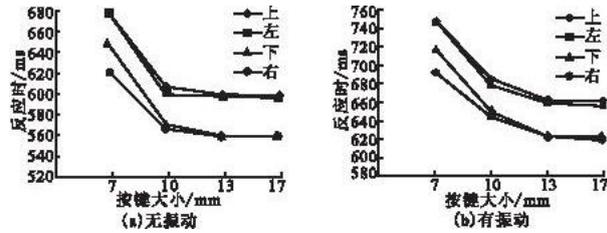


图 2 键尺寸、键方位对反应时的影响

Fig. 2 Response time influenced by key size and position

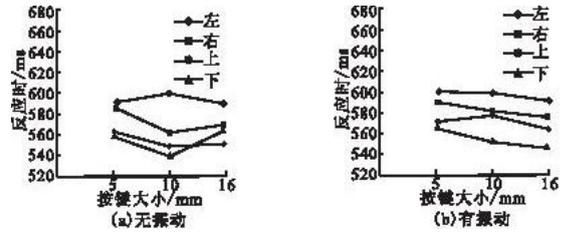


图 3 按键间隔和方位对反应时的影响

Fig. 3 Response time influenced by interval and position

可以得出以下结论:

1) REPEATED MEASUREMENT ANOVA 分析结果表明, 不论有无振动, 按键间隔对反应时没有显著影响 ( $F(6,66) = 1.85, P = 0.102$ )。分析原因为: 键的间距大, 需注意的目标范围大, 反应时延长; 键的间距小, 易触动旁边的按键, 延长反应时, 这两个因素同时作用导致间距对反应时没有影响。这一点在有无振动时是一样的。

2) 不同间隔距离的按键对反应时没有显著影响 ( $F(2,22) = 1.68, P = 0.23$ ); 不同方位对反应时有显著影响 ( $F(3,33) = 8.30, P < 0.00001$ ), 键的方位和不同间距没有交互作用 ( $F(6,66) = 0.72, P = 0.636$ )。

3) 进一步分析键的不同方位, 结果表明: 对下边和右边键的反应时没有显著差异 ( $t_B(6,11) = -1.63, P > 0.7$ ), 对下边和上边键的反应时没有显著差异 ( $t_B(6,11) = 0.21, P > 0.8$ ); 对左边和右边键的反应时没有显著差异 ( $t_B(6,11) = 2.13, P > 0.3$ ); 对上边和右边键的反应时没有显著差异 ( $t_B(6,11) = -2.56, P > 0.14$ ); 但键在左边和键在上边对反应时有显著差异 ( $t_B(6,11) = 4.23, P < 0.01$ ), 键在左边和下边对反应时有显著差异 ( $t_B(6,11) = 5.03, P < 0.01$ ), 可表示为  $T_R(\text{左}) \approx T_R(\text{右}) > T_R(\text{上}) \approx T_R(\text{下})$ , 这与实验 1 不同。原因为: 在实验 1 中, 被试对随机出现在左右上下的 4 种刺激反应, 而在实验 2 的 12 个分实验中, 对左右上下任一方位上的 4 个刺激反应, 左右方位的 4 个键是垂直排列的, 上下方位的 4 个键是水平排列的, 被试更易于对水平排列的键反应。

4) 振动造成较小间隔按键的差错率上升。实验发现: 振动环境下, 间隔为 5 mm 时差错最高, 约为 4%, 间隔为 10 mm、16 mm 明显减少。

## 4 结论

振动环境会对人产生干扰, 注意力也会受到一定程度影响。实验结果表明:

1) 下边键反应最快, 左边键最慢; 上边、右边键中等, 但多键情况下对上边键反应较好; 按键之间的间隔对反应影响不大, 无振动时为 5 mm 即可, 但为了减少振动环境下的反应错误率, 振动时建议增加为 10 mm。

2) 非振动环境下, 按键大小以 10 mm × 10 mm 为宜; 振动环境下, 按键大小设定为 13 mm × 13 mm 时反应时与出错率的综合成绩基本达到最优水平。分析认为: 主振为 23 Hz 的振动环境, 振幅为人体稍感振动的情况下, 由于存在振动干扰和视觉清晰度下降, 按键大小应比不振动时增加 25%, 至少不能小于此值, 否则反应时明显延长, 错误率上升。

3) 主振高于 23 Hz 时, 反应时普遍延长, 达 5% - 25%, 错误率增加约 2%。

4) 振动对人体存在不良影响, 应控制在一定范围内。人体对低频 (不超过 8 Hz) 振动最敏感。实验说明

座舱振动一定要控制在不造成心理影响的范围内,主振频率应在 15 Hz 以上。

## 参考文献:

- [1] 牟炜民. 座舱显示器周边各键尺寸、方位和间隔的工效学实验研究 [J]. 人类工效学, 1997, 3(4): 10-12.  
MOU Weimin. Research on Ergonomics of Key Style around Cockpit's Screen [J]. Human Ergonomics, 1997, 3(4): 10-12. (in Chinese)
- [2] 孙东红. 直升机振动环境与机载设备振动环境试验若干问题的探讨 [J]. 航空标准化与质量, 2004, 33(4): 47-49.  
SUN Donghong. Researches on Vibration Environment in Helicopter and Airborne Equipment [J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2004, (4): 47-49. (in Chinese)
- [3] 杜俊敏. 人体前方平面上目标点拾取运动特性及工效研究 [J]. 航天医学与医学工程, 2007, 20(1): 62-65.  
DU Junmin. Ergonomics Research and Movement Features of Target Picking-up on the Plane before Human Body [J]. Aerospace Medicine and Medicine Engineering, 2007, 20(1): 62-65. (in Chinese)
- [4] Jagacinski R J. Fitts' Law in Two Dimensions with Hand and Head Movement [J]. Journal of Motor Behavior, 1985, 17(1): 77-95.
- [5] 朱祖祥. 工程心理学 [M]. 上海: 华东师范出版社, 1989.  
ZHU Zuxiang. Psychology on Engineering [M]. Shanghai: Huadong Teacher's Publishing Agent, 1989. (in Chinese)
- [6] 郭定, 何荣光. 航空维修工效学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.  
GUO Ding, HE Rongguang. Aviation Maintenance Ergonomics [M]. Beijing: Publishing Company of National Defence Industry, 2007. (in Chinese)
- [7] 柳文林. 直升机振动与减振特性分析 [J]. 海军航空工程学院学报, 2004, 19(5): 20-23.  
LIU Wenlin. Analysis on Helicopter Vibration and Damping of Vibration [J]. Journal of Navy Aviation Engineering, 2004, 19(5): 20-23. (in Chinese)
- [8] 王黎静. 军用飞机驾驶舱中飞行员上肢可达性分析 [J]. 北京航空航天大学学报, 2005, 31(1): 41-44.  
WANG Lijing. Analysis on Reach Envelop of Pilot in Cockpit [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautic, 2005, 31(1): 41-44. (in Chinese)

(编辑: 徐敏)

## Ergonomics Research on Keys around Screen in Helicopter Cockpit in Vibration Environment

HE Rong-guang, GUO Ding, YANG Jun-chao, SHI Yue

(Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

**Abstract:** Ergonomics optimization design of keys around screen in helicopter cockpit is meaningful to the improvement of operating performance, but the research on its ergonomics characteristics in a vibration environment is a weak link. In this article, we take a new method to investigate this problem with a simulation platform. Through data analyses, some results are summed up as follows. The response time is affected by key size and its position. That the key size is 10 mm is preferable without vibration. And that it is 13 mm, or 25% bigger, in other words, is preferable with the vibration of 23 Hz which can be felt slightly by human body. Under vibration, it is appropriate that the interval between keys is 10 mm. The increase of mistakes and response time caused by vibration must be under suitable control. The result of this research is of some reference value to the ergonomics design and improvements of helicopter manipulating performance.

**Key words:** helicopter cockpit; keys around screen; vibration environment; ergonomics experiment