

# 机械系统人机界面优化匹配 试验评价方法的研究\*

毛恩荣 宋正河 周一鸣

(中国农业大学)

**摘要** 提出了一种基于仿真试验来评价机械系统人机界面匹配合理程度的方法。采用这种方法进行评价的基本步骤是:首先根据实际问题初步设计出若干种可供选择的人机界面配置方案;由此确定需要通过仿真试验进行评价的典型试验工况;按照所选择的试验工况,在所研制的“机械系统人机界面优化匹配多参数调节式仿真试验台”上布置人机界面中各元、部件的位置;根据机械系统的实际使用条件及适用的人群范围选择典型的被试者对各试验工况进行主观评价;最后,根据试验评价成绩,对所研究的人机界面进行优化匹配评价并从中选择出优化匹配方案。

**关键词** 机械系统 人机界面 优化匹配 仿真试验台 试验评价方法

机械系统人机界面指的是操作人员与机器之间相互作用的区域。人机界面问题自 20 世纪初就引起了人们的重视,在军事和大型工业领域,很多重大事故都源于人机界面匹配不当。人机界面匹配不当还会对操作人员造成生理或心理上的伤害,许多职业病也都源于不合理的操作环境或工作姿势。因此,研究和分析人机界面匹配的合理程度,使操作人员和机器互相协调,提高整个系统的工作效率,保障操作人员的身心健康就显得十分必要。

人机界面包括的内容很多,全面、深入地研究它对系统工效以及操作人员身心健康的影响是比较困难的。迄今为止,国内、外还没有成熟的人机界面优化匹配的评价方法。由于在机械系统人机界面设计中各元、部件几何位置的布置占有非常重要的地位,所以本文着重研究提出一种主要针对人、机几何位置关系的机械系统人机界面优化匹配的试验评价方法。为了便于介绍,在本项研究中选择了一种具有代表性的通用机械系统作为研究对象,并以此为例来说明机械系统人机界面优化匹配的试验评价方法。

## 1 机械系统人机界面优化匹配多参数调节式仿真试验台

为了通过仿真试验来评价机械系统人机界面匹配的合理程度,设计了一种“机械系统人机界面优化匹配多参数调节式仿真试验台”<sup>[1]</sup>,如图 1 所示。

该试验台的特点是能够对由各种显示元件(显示器)、仪表板、手动控制器(含方向盘)、

收稿日期:1998-02-08

\* 国家自然科学基金资助项目(59575039)

毛恩荣,副教授,工学博士,北京市海淀区清华东路 中国农业大学(东校区)车辆工程学院,100083

脚踏控制器(含脚踏板)、工作座椅、工作台等元、部件组成的任意机械系统人机界面进行仿真试验,所有元、部件的安装位置或角度都可以在一定范围内调节,包括:显示元件在仪表板上的位置;仪表板在工作台上的位置及其倾角;工作座椅相对于工作台的位置及座椅的座面高度;工作台台面的高度和倾角;手操纵杆的安装位置及高度;脚踏板的位置等。安装上方向盘(试验台的标准附件)之后可以模拟车辆驾驶室的操作界面。

为了模拟不同的机械系统,试验台配置了大量的标准附件,如各种形状、尺寸、颜色的指示灯、按钮、旋钮、各类开关、不同尺寸的显示仪表、操纵杆、脚踏板等等。

为了迅速、准确地测试、记录试验台上当前工况的元、部件几何位置以及被试者在试验中的操纵动作过程,还为机械系统人机界面优化匹配多参数调节式仿真试验台配备了摄像系统和相应的图像处理系统。

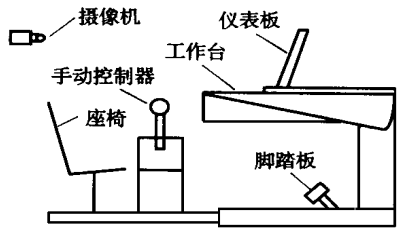


图 1 机械系统人机界面优化匹配仿真试验台

Fig. 1 The simulator stand for dynamic optimum matching of man-machine interface in mechanical system

## 2 机械系统人机界面优化匹配的试验设计

### 2.1 试验工况的选择

所谓试验工况,是指被评价的机械系统人机界面上各元、部件的某一种布置方式。

复杂机械系统的人机界面通常要由视觉类、手操作类、脚操作类、座椅类等十几个、几十个或更多的元、部件组合而成,每个元、部件的布置位置又可以是多种多样的。为了在可能的条件下以最短的时间达到最佳的试验效果,并且使得到的试验数据能最大程度地体现试验评价的要求,在试验设计时,首先应根据人机工程学的基本原理,查阅相关机械系统人机界面的资料,对所研制的机械系统的人机界面进行初始设计,选出若干种可供选择的人机界面配置方案。然后据此确定需要进一步通过仿真试验进行评价的典型试验工况,并按照所选择的试验工况,在所研制的“机械系统人机界面优化匹配多参数调节式仿真试验台”上布置人机界面中各元、部件的位置。

本项研究选取的一种通用机械系统的人机界面由三个视觉类元件(指示灯、仪表 1、仪表 2),三个手操作类元件(按键、旋钮、开关),一个脚操作类元件(脚踏板)和一个座椅类部件(座椅)组成。通过初始设计,共确定了 20 种典型试验工况。

### 2.2 试验评价的标准

在仿真试验时,被试者要对试验台布置的各种试验工况进行评价打分。试验评价标准就是被试者主观评价打分的客观依据和尺度。由于被试者是带有主观意识和主体思维的“人”,不可能完全控制其行为和思维。因此,在设计试验评价的标准时,采用了模糊数学的原理和方法,评价标准的各级之间没有明确的、严格的界限,具有一定的模糊性和不确定性。

所制定的试验评价标准(分为五级)如下:

很舒适:操作完成后,被试者感觉各元、部件位置布置非常得当,身体无劳累感觉,操作无障碍,视觉很舒适,操作力度很合适。

舒适:操作完成后,被试者感觉各元、部件位置布置得当,身体基本无劳累感,操作基本

无障碍, 视觉舒适, 操作力度合适。

一般: 被试者操作幅度较大, 有时存在操作障碍或出现交叉操作现象, 视觉基本舒适, 操作力度基本合适, 身体有轻度劳累感。

不舒适: 操作完成后, 被试者明显感到位置布置不合理, 视觉劳累, 身体各部位移动幅度较大, 操作力度明显不够, 身体感觉劳累。

很不舒适: 操作时, 被试者对各控制器操作费力、费时, 一段时间之后, 全身劳累, 从心理上不想再继续操作。

### 2.3 试验指导语

为了引导被试者在评价试验中的行为和思维, 尽量减少试验中被试者的主观随意性, 同时也为了说明试验的目的、内容、方法、步骤和注意事项, 根据机械系统人机界面优化匹配试验评价的实际需要和人机工程学的试验原理, 编写了试验指导语。为了准确无误地向被试者说明试验的所有信息, 试验前应把全部指导语录入磁带, 试验时再用喇叭播出。

### 2.4 被试者的选择

选择被试者的主要根据是所研制的机械系统的实际使用条件及其适用的人群范围。由于本项研究选取的是一种通用的机械系统, 所以参考“中国成年人人体尺寸”<sup>[21]</sup>及“在产品设计中应用人体尺寸百分位数的通则”<sup>[31]</sup>等有关的国家标准, 挑选了身高符合 5%、50%、95% 三个典型百分位尺寸的成年男子和成年女子共 27 名被试者作为试验对象, 他们的身高和人数分布见表 1。这 27 名

被试者对人机工程学都有一定程度的了解, 有的还是这方面的研究人员或专家。在试验之前, 对被试者进行了专门的试验培训, 使之了解了本试验的具体操作过程。

表 1 被试者不同身高人数分布

Tab 1 The distribution of heights and number of subjects

性别	身高/cm	人数
男	155~ 165	4
	166~ 175	7
	176~ 185	5
女	145~ 154	2
	155~ 160	4
	161~ 170	5

## 3 机械系统人机界面优化匹配的评价试验和评价方法

评价试验在“机械系统人机界面优化匹配多参数调节式仿真试验台”上进行。按照所选择的试验工况, 试验前由主试者在试验台上布置人机界面中各元、部件的位置; 接着让被试者在指导语的提示下对当前试验工况进行规范操作; 然后再让被试者根据自身的真实感受给当前试验工况综合评价打分。

全部试验完成后, 为了得到更加充分的数据资料, 在主试者的指导下, 被试者可按自己的感受布置一种自己认为最佳的工况, 并用摄像系统摄下这一工况的图像, 然后输入图像处理系统进行处理, 得出这些工况的布置尺寸。

完成评价试验后, 对试验结果进行统计处理, 求出不同性别、不同身高被试者对各试验工况打分成绩的平均值和标准差并比较其差异大小。然后, 根据统计分析结果, 选取评价成绩好的若干个试验工况作为机械系统人机界面设计的准优化匹配工况。如有必要, 还可对所选取的准优化匹配界面进行进一步的专家级打分评价, 并从中选取最优匹配的人机界面。

表 2 为 27 名被试者对所选取的 20 个典型试验工况的综合评价平均成绩。H 检验结果表明, 这 20 个工况的综合评价成绩间差异极其显著 ( $h = 153.09, P < 0.0001$ )。这说明所研

制的仿真试验台和提出的试验评价方法能够较好地用来区分各种不同人机界面的匹配合理程度。其中,工况 1、19、7 和 15 的评价成绩较好(平均成绩或平均秩越高,舒适的程度就越高),可作为准优化匹配工况,并且还可从中进一步筛选出最优匹配工况。

#### 4 结 论

基于仿真试验对机械系统人机界面匹配的合理程度进行试验评价是一种切实可行的方法。采用这种方法进行评价的基本步骤是:首先根据实际问题初步设计出若干种可供选择的人机界面配置方案;由此确定需要进一步通过仿真试验进行评价的典型试验工况;按照所选择的试验工况,在所研制的“机械系统人机界面优化匹配多参数调节式仿真试验台”上布置其人机界面中各元、部件的位置;根据机械系统的实际使用条件及其适用的人群范围选择典型的被试者对试验工况进行主观评价;最后,根据试验得出的评价成绩,对所研制的人机界面进行优化匹配评价,并从中选择出优化匹配方案。

这种方法的特点是:直观,量化,仿真试验工况布置方便、灵活,试验周期短,费用低,因此可作为对机械系统人机界面匹配合理程度进行量化评价的一种有效方法。

表 2 27 名被试者对各试验工况的综合评价成绩

Tab. 2 The average test scores of 27 subjects in each test case

工况 序号	综合评价成绩		H 检验 平均秩
	平均值	标准差	
1	3 9259	0 6156	381.96
2	2 9259	0 6752	190.46
3	3 6667	0 6794	333.83
4	3 6296	0 4921	330.56
5	3 6296	0 6293	329.43
6	2 2963	0 6086	88.93
7	3 7407	0 5944	347.81
8	3 4815	0 5092	296.78
9	3 3333	0 6202	268.81
10	3 0370	0 5175	207.17
11	3 6667	0 5547	334.96
12	3 2222	0 6405	246.39
13	3 0741	0 6752	218.43
14	3 2593	0 6559	254.83
15	3 7037	0 4653	347.44
16	3 2222	0 8006	248.17
17	2 7037	0 8234	161.46
18	2 8148	0 7357	175.17
19	3 7778	0 5774	356.26
20	3 4444	0 6405	294.15

注:综合评价成绩计分的方法为:很舒服为 5 分,舒适为 4 分,一般为 3 分,不舒服为 2 分,很不舒适为 1 分。

#### 参 考 文 献

- 1 宋正河. 机械系统人机界面优化匹配的试验研究: [学位论文]. 北京: 中国农业大学, 1997
- 2 中华人民共和国国家标准 GB 10000-88 中国成年人人体尺寸. 北京: 中国标准出版社, 1988
- 3 中华人民共和国国家标准 GB/T 12985-91. 在产品设计中应用人体尺寸百分位数的通则. 北京: 中国标准出版社, 1991

## Study on Test Evaluation Method for Optimal Matching of Man-Machine Interface in Mechanical System

Mao Enrong Song Zhenghe Zhou Yiming

(China Agricultural University, Beijing)

**Abstract** In order to evaluate the matching reasonable degree of man-machine interface with the help of simulation test, a multiparameter adjustable simulator stand for optimal matching of man-machine interface in mechanical system was developed. This simulator stand was formed mainly of the table base, instrument panel, seat, operating lever, pedal, video camera and other components. The relative position between its components can be adjusted, so it is able to simulate the man-machine interface in various mechanical systems. To simulate different man-machine interfaces, a number of simulator stand accessories, such as various indicator lights, push buttons, knobs, switches, indicators, operating lever, pedal, steering wheel and so on, were provided. These accessories can be installed on the simulator stand by means of magnetic force or screw bolts, and the positions of them are able to be freely adjusted. In order to be able to measure the position of each component and the subject's operating action in current test case rapidly and accurately, the simulator stand was fitted with a video camera system and an image processing system.

On the basis of the simulator stand, a simulating test evaluation method used to evaluate the matching reasonable degree of man-machine interface in mechanical system was put forward. The basic operating procedure of this test evaluation method was as follows: Firstly, choose several preliminary matching schemes of man-machine interface based on the practical problem, and set the typical test cases to be evaluated through the simulating test. Secondly, according to the selected test cases, arrange the elements or components on the multiparameter adjustable simulator stand for optimal matching of man-machine interface in mechanical system. Thirdly, choose the typical test subjects according to the operating condition and its applicable crowd of practical mechanical system. Fourthly, let all test subjects make the evaluation to all selected test cases on the basis of their subjective sense perception. Finally, decide on the quasi-optimal matching schemes in the light of the evaluating results obtained from statistical analysis of all subjective evaluation data and select the optimal matching scheme among them. Moreover, in order to make the motion study, the operating action image of each test subject's operating process was produced by using the video camera system.

**Key words** mechanical system, man-machine interface, optimal matching, simulator stand, test evaluation method