

# 用微型计算机实现动态画面显示 ——平显高度字符信号响应的实验研究<sup>1)</sup>

崔 代 革

中国科学院心理研究所, 北京

## 摘 要

本实验是关于飞机平视显示器高度字符的工程心理学研究。使用 TRS-80 微型计算机为主要实验仪器, 通过对六种不同高度字符的动态显示和信号响应能力的测定, 优选出最佳高度字符, 为我国未来的平显军用规范提供适当的数据。

## 一、前 言

飞机平视显示是一种六十年代发展起来的电光显示。它可将飞行数据(飞行姿态、高度、速度、航向等)以数字、符号和图象的形式集中在飞行员的直接视野内(光镜上)与背景叠加, 使飞行员眼睛不离开航线就可观察的一种显示。这种新型显示有利于仪表的综合, 消除了对单个仪表的分散凝视, 减少了扫视时间, 使飞行员能迅速地对变化着的情况做出反应。

平显字符至今还没有一个统一的、以实验数据为依据的平显军用规范, 而是以专家的意见为依据的, 也就是沿用其它类型显示器的研究成果。

因此, 本实验是对六种高度字符的最佳动态显示特性进行研究, 从中选出最佳的显示方式。为达此目的, 使用了 TRS-80 微型计算机作为实验控制之主要仪器, 用以模拟高度字符动态显示的情景。在微型计算机上实现信号响应能力的测定, 无论从技术上, 还是从经济上看都有明显的优越性。

## 二、实验方法

### 1. 实验装置

以 TRS-80 微型计算机为主要仪器。通过扩展器、显示器、键盘、录音机和打印机实现高度字符的动态显示及信号响应。软件设计达到了本实验要求, 如字符清晰、匀速、

1) 本文于1986年6月28日收到。

随机呈现、记时、统计、显示并打印结果等。

在实验过程中，人和微型计算机组成一个人-机系统，被试通过视觉接受显示终端上所呈现的图象信号(字符)。然后以手动的方式(按键)作出响应。响应是通过瞬态键盘选通输入到微机系统中去而实现的。如框图1。

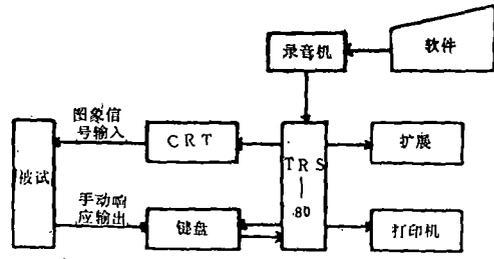


图1 信号响应框图

### 2. 实验画面

实验画面共分六种，如图2所示，分别呈现在视野中央区。

字符的更新速度相同，为100m/秒。字符更新皆为匀速运动。正确响应的宽容度为1秒。

每种高度字符在0—25000米高度范围内，随机呈现30次，即每人完成30次响应。六种高度字符每人共完成180次响应，而每种高度字符由24人完成720次响应，全部响应是在“上升”过程中实现的。指令呈现到手动响应的时间间隔都不相等，为随机呈现。六种字符都呈现在荧光屏的中央区，即视野的中央部份，指令呈现在荧光屏的右上方，响应次数呈现在左上方。

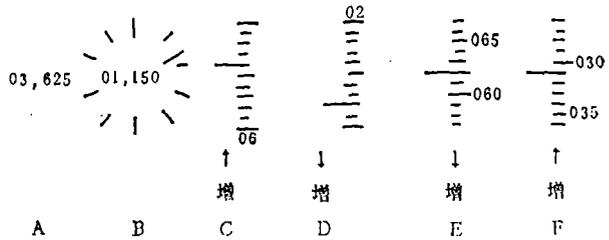


图2 六种平显高度字符

A—数字式。字符高0.6cm，视角约48°；B—数字圆盘式。圆盘直径10cm，视角约12°30′；C—带式字符。其显示方式是刻度带不动，指针动，指针向上表示飞机上升，刻度带长为10cm，视角约为12°30′；D—带式字符。其显示方式同C。指针向下表示飞机上升。刻度带的长度及视角同C；E—带式字符。其显示方式是指针不动，刻度带动。刻度带向下运动，表示飞机上升。刻度带的长度及视角与C相同；F—带式字符。其显示方式同E。刻度带向上运动表示飞机上升，其长度及视角与C相同。

带式和圆盘刻度的响应点均选在刻度上。由于显示是跳动呈现(因矩阵显示方式所致，其分辨率只达到1/6144)，不可能将响应点选在刻度间。

六种高度字符呈现顺序按拉丁方排列。

### 3. 实验步骤

实验前向被试讲解实验的作法和要求，进行学习和训练，当被试学会后，开始实验。

被试面对显示器，视距约450mm，在实验全部过程中，被试手指始终放在要作响应的键盘上，以备迅速作出响应。减少反应误差。

被试通过接受显示器上所呈现的动态画面，准确、迅速以手动的方式(按键)对指令作出响应。微机记录反应时、正确响应次数、提前响应次数及延迟响应次数(包括漏反次数\*)。每个连续响应30次后，微机显示并打印上述实验结果及统计数据，即平均反应时、最长反应时、最短反应时、正确响应次数、提前响应次数、延迟响应次数和标准差。还能将

\* 在本实验中规定刺激出现以后，经一秒钟如仍无反应则被称为“漏反”。

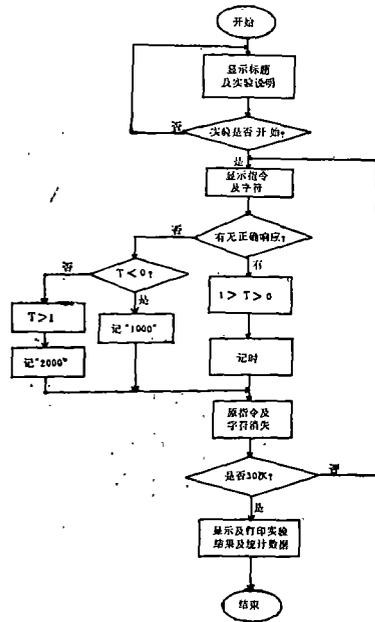


图 3 程序流程

每人响应情况用直方图形式显示出来。被试休息三分钟,消除疲劳,实验继续按拉丁方排列的顺序进行(见程序流程图4)。全部实验结束后,询问被试对六种显示方式的主观评价,予以记录。

本实验共选用24人,视力在1.0以上者(包括矫正视力),文化程度均为大学一年级学生。

### 三、实验结果

1. 六种高度字符的平均正确反应时以C种为最优,D种次之,A种最劣(见表1)。也可视为在带式字符中C种最优,带式不仅优于数字式A,也优于数字圆盘式B。 $t$  检验的显著水平从表2可见,A与其它各种字符,B与其它各种字符之差异都非常显著。而四

表 1 六种高度字符信号响应实验结果表

	正确反应时		正确次数		提前次数		延迟次数	
	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S
A	0.58	0.10	25.75	2.57	1.71	1.10	2.54	1.20
B	0.38	0.10	27.33	2.13	2.08	1.87	0.58	0.86
C	0.27	0.06	29.67	0.69	0.21	0.41	0.12	0.60
D	0.28	0.06	29.38	0.81	0.33	0.62	0.29	0.54
E	0.29	0.06	29.17	2.34	0.50	0.87	6.33	2.07
F	0.30	0.08	24.25	1.98	0.58	0.70	5.17	1.75

表 2 平均正确反应时的 t 考验值

字 符	B	C	D	E	F
A	7.77***	12.96***	12.61***	11.22***	12.07***
B		4.68***	3.98***	3.18***	2.87***
C			1.27*	1.74*	2.56**
D				0.95*	1.78*
E					0.89*

注：\*  $P > 0.05$  \*\*  $0.05 > P > 0.01$  \*\*\*  $P < 0.01$  (以下各 t 考验值表的显著水平均如此表示)

表 3 平均正确响应次数的 t 考验值

字 符	B	C	D	E	F
A	1.99*	7.32***	6.62***	3.67***	2.49**
B		5.44***	4.10***	5.34***	4.38***
C			1.37*	13.19***	11.62***
D				12.60***	10.87***
E					1.66*

表 4 平均提前响应次数的 t 考验值

字 符	B	C	D	E	F
A	0.72*	6.43***	5.01***	4.20***	3.58***
B		4.48***	4.18***	3.32***	3.76***
C			0.83*	1.43*	1.98*
D				0.70*	1.24*
E					0.38*

表 5 平均延迟响应次数的 t 考验值

字 符	B	C	D	E	F
A	4.53***	5.47***	5.27***	6.15***	5.56***
B		4.11***	1.32*	12.52***	10.67***
C			0.94*	14.04***	12.56***
D				13.48***	11.77***
E					2.02*

种带式字符除 C—F 的差异显著外,其它带式字符间之差异均不显著。

2. 平均正确响应次数以 C 种最佳, D 种次之, E 种最差(见表 1)。其显著水平除 A—B、C—D、E—F 之间差异不显著外(见表 3)。

3. 从平均提前响应次数看, C 种出现提前响应现象最少, D 种次之, B 种最多(见表 1), 其差异显著水平除 A—B 及几种带式间不显著外, 其余均非常显著(见表 4)。

4. 从平均延迟响应次数看, C 种出现延迟响应现象最少, D 种次之, E 种最多(见表 1)说明 E 和 F 两种显示方式对人的响应能力有抑制作用, 其显著水平除 B—D, C—D, E—F 之差异不显著外, 其它均非常显著(见表 5)。

5. 根据肯德尔和谐系数(W)对六种高度字符作综合评定, 其结果 C 种最优, D 种次之, A 种最劣(见表 6)。

表 6 六种高度字符的等第表

项 目	A	B	C	D	E	F
反应时	6	5	1	2	3	4
正确响应次数	4	3	1	2	6	5
提前响应次数	5	6	1	2	3	4
延迟响应次数	4	3	1	2	6	5
R <sub>i</sub>	19	17	4	8	18	18
综合评定	6	3	1	2	4.5	4.5

R<sub>i</sub> 为每种字符各指标等第之和。

本实验共采用四种指标, 故  $K=4$ 。对六种显示方式进行评定, 故  $N=6$ 。当  $K=4$ ,  $N=6$  时,  $W$  的显著水平可直接查表来考验。实得的  $S$  值为 202, 于大  $K=4$ ,  $N=6$  的 0.01 水准的  $S$  临界值 176.2, 故  $W=0.72$  为非常显著。这就说明四种指标的评定结果颇有一致性。如果四种指标评定结果若完全一致的话, 则最佳字符的等第之和( $R_i$ ) 应为  $1 \times 4 = 4$ , 第二位的  $R_i$  应为  $2 \times 4 = 8$ , 以此类推, 本实验四种指标评定结果 C 种的  $R_i$  为 4, D 种为 8。不容置疑 C 最优, D 次之。由于  $W=0.72$ , 其相关为非常显著。可由等第之和  $R_i$  的大小顺序确定其它四种等第, 故 B 列第 3, E、F 并列 4.5 ( $R_i$  均为 18), A 列第六位。

## 四、讨 论

前面已提到的国外平显字符种类繁多。本实验所使用的字符主要借用国外现役飞机上常用的几种字符。如, A 种就是英国司密斯公司采用的五位数字显示; C 种是奥地利的埃逊贝克公司所采用的带式显示(刻度带不动指针动), E 种是英国马克尼公司采用的带式显示(刻度带动, 指针不动)。B 种是英国工程心理学家乔利提出的一种显示方式(但英国司密斯公司并没有采用)。根据我们动态显示和信号响应实验提出几点看法:

1. 动态显示的信号响应实验从四种指标的结果来看都证实了 C 种显示方式最佳。根据被试的主诉有 80% 的被试认为 C 种好, 他们的观点是: C 种显示方式直观、形象、易

辨认,不易错,不紧张。其原因粗略分析如下:

① 符号本身的动态特征决定辨认的速度和准确性。带式中的 C 和 D 种直观、形象,符号既不过简,也不过繁,因此它优于简单的纯数字式,也优于复杂的带式中的 E 和 F。C 和 D 的动态特征是指针动,刻度带不动,字符清晰,无干扰。被试是根据指针运动进行视觉跟踪,较容易实现准确的信号响应。另一方面,在一个动态字符中,相对静止部分多于运动部分,使人感到符号清晰、明了、易辨。

② 符号本身的动态意义也影响着辨认的速度和准确性。因为人的思维对感、知觉过程是有调节作用的,这是人们公认的心理原则。本实验在没有背景作相对运动的情况下(即飞机上升时,真实的天地线会下移),作为高度字符的指针向上移动,表示飞机高度上升。这种仪表显示的方向与客体变化相一致的情况,在日常是多见的,如温度计、各种压力计等等。这样,当被试知觉到该种符号时,便会自然地与以往的这类经验联系起来,而能动地寻求对所呈现的刺激作出最佳的反应。联想到以 C 种方式直观示出的升降趋势。这既能使人的适应所感知客体的特点,又能在反映该种显示方式时不易散发生歪曲,并准确迅速的作出反应。

总之,符号本身的动态意义若符合人们过去的习惯和经验,则对视知觉过程必定会发生积极的影响。

③ 与眼动方式有关,本实验虽然没对眼动轨迹进行描记,从主诉材料获悉,被试对 C 和 D 种的视知觉运动是视动跟踪(注视并跟随指针运动),其方向和速度基本与指针的方向速度相同,当眼睛在注视的时候,即观测目标的运动及其差异的变化,此时,能获得大量的信息,眼的跟踪运动可提供运动知觉使信号响应误差为最小,这就保证了在所要求的高度上准确、迅速作出响应。而被试对 E、F 两种字符的观察更多的是视线跳动(眼睛的寻找运动)。初步分析 C 和 D 种的眼动轨迹很可能比 E、F 简单得多。从 C、D 的延迟响应次数与 E、F 有显著性差异( $P < 0.01$ )这点也能说明这一问题。

从三个方面的粗略分析,说明在六种字符中, C 种显示方式最优。同样在四种带式字符显示中 C 种的优点从四种指标得到证实。据国外资料报道带式优于圆盘式,有实验证明带式刻度有相当好的外观,它可以很大的直观性提供信息。日本航空心理学指出,关于带式仪表和圆盘仪表之间的判读实验材料表明,速度表、升降速度表及高度表都是带式优于圆盘(见表 7)但只有高度表之差异在统计学上是有意义的。

但在带式的两种基本形式中(一种是指针动,一种为刻度带动)哪种更好些没有见到肯定的结论。英国资料报道占面积大是带式字符的共同缺点,指出指针动每变化 1000m,

表 7 圆盘与带式仪表的反应时和错误率比较

仪表种类	反应时(秒)		错误率(%)	
	圆盘	带式	圆盘	带式
速度	0.6	0.4	1.4	0.6
升降速度	0.6	0.5	2.8	1.6
高度	1.2	0.4	6.8	3.0

就要从最大突变为0(指针指示1000m时,立即消失,然后再从0高度重新显示),形成了连续变化中不连续显示,认为效果不好,本实验的被试对此反应不突出。对刻度带动指出不能给出明确的信息,读数时间较长,比读航向符号的时间还长,对此被试是有同感的。

对于带式中的“反向”显示(D、F种),由于没有背景画面或模拟天地线,本实验得不出肯定的结论,仍有待于今后研究和探讨。有个别人认为反向的显示方式好,其理由是人们在日常生活中的注视习惯是由上而下。

2. 关于提前和延迟响应指标的选择。本实验所用指标除传统的反应时和正确次数外,还使用了错误性质的指标,即提前响应和延迟响应。国外文献报道,经常发生问题是驾驶员不能对高速进场着陆作出迅速和准确的姿态及位置判断。有的资料说明,起飞、着陆仍是事故最多的阶段,飞行员操纵错误而造成飞行事故的约占事故总数的50%左右。但随年代的增加,这类事故有逐年上升的趋势。因此应该探讨显示方式对操纵能力的影响。为达此目的本实验选择了提前和延迟响应两种指标。从实验结果表明,B种的平均提前响应次数最多,有13%的被试对该种显示感到紧张,还有人将500m(位于时钟6点处)误认为600m,造成提前响应。提前响应也可称之为错觉(不正确的知觉),其主要原因一受本人情绪及过去经验的影响;二是显示方式本身(每周10个大刻度)易与人们所熟悉的时钟(每周12个大刻度)相混淆。而E、F两种显示方式造成平均延迟次数最多,不仅感到紧张,还有反应不过来之感。这就易促成在延迟的时间内发生意想不到的飞行事故。因此,在选择最佳符号时,应认真分析、考虑这些错误性质,这对我们优选出的符号具有一定的科学性,及有效地保障飞行员的生命安全和杜绝飞行事故的发生是有益的。

3. 动态实验结果与静态实验结果之比较。1982年用书写投影仪对这六种符号做过静态判读实验,指标为反应时和正确率,两种指标按其等第顺序完全一致(见表8),静态结果以B种数字圆盘式为最优,而动态实验是C种——带式最优,在静态实验中居第二位的数字式在动态实验中最差,两个实验结果差距很大。

表 8 静态与动态综合评定等第表

符 号 种 类		A	B	C	D	E	F
静 态	反 应 时	2	1	4	3	5	6
	正 确 率	2	1	4	3	5	6
综 合 评 定	静 态	2	1	4	3	5	6
	动 态	6	3	1	2	4.5	4.5

将静态与动态评定结果用斯皮尔曼等级相关系数临界值显著水准来考验,证明当 $N=6$ 时,0.05显著水准的 $r=0.829$ ,实得的相关系数 $r=0.072$ ,大大地小于0.829,故远未达到显著水平。所以静态和动态评定之间没有相关存在。也就是两种结果没有一致性。

虽然得出两种不同的实验结果,但由于动态实验模拟了平显字符的动态情景,同时又从四种指标进行了研究,因而提高了动态实验结果的可信度,本实验数据可作为有关部门

采用的依据。

## 五、小 结

1. 根据四种指标表明 C 种显示方式最优, D 种次之。在带式刻度中, 指针动, 刻度带不动优于刻度带动, 指针不动的显示方式。

2. 具备最优显示方式的字符应具备以下特征:

① 字符既不过简也不过繁, 具有良好的直观性和形象性;

② 字符本身的动态含意与所反映的事物应有密切的内在联系;

③ 在动态字符中相对静止的部分应多于运动的部分, 尽量使运动部分减少到最低限度:

④ 动态字符(仪表)应给出变化的趋势, 这能获得较理想的辨认效果。

3. 由于实验模拟了平显动态情景, 并从四种指标进行探讨, 其数据可提供使用单位参考。是否与有动态背景的视动响应结果相一致, 还有待实验证实。

4. 实验画面中的 D 种和 F 种是反向显示, 由于没能在显示终端上模拟天地线的动态背景, 正、反向的比较还有待于今后的研究。

5. 在工程心理学的研究中, 将微型计算机作为动态画面主要实验控制手段, 已被本实验证实。

因此, 在人-机系统中用微机实现信号响应能力的测定, 能优选出最佳字符, 为改进仪表显示方式提出依据, 从而优化分配人一机之间的功能。实践证明, 微机作为实验控制手段, 是一种功能强, 便于扩展, 使用方便且价格低廉的测定系统。

## ALTITUDE SYMBOLS IN HEAD-UP DISPLAYS ON AIRPLANES

Cui Daige

(*Institute of Psychology, Academia Sinica*)

### Abstract

This experiment in engineering psychology studied altitude symbols of airplane head-up displays. A mini-computer was used in the experiment. An optimum altitude was selected among six different altitude symbols on the basis of their dynamic display on the screen and their response to the signals. Adequate data were thus obtained to meet future specifications of head-up displays.