

## 数控设备显示器上的汉字文本阅读工效研究

胡志刚<sup>1</sup>, 何雨<sup>2</sup>, 乔现玲<sup>2</sup>, 周安琪<sup>2</sup>

(1.西京学院, 西安 710021; 2.陕西科技大学, 西安 710021)

**摘要:** **目的** 研究影响电子显示器上汉字文本阅读工效的因素并提出建议。**方法** 借鉴人机工程学经典理论, 采用正交实验法, 以数控机床显示器为对象、office word 为载体, 研究在显示器上进行单行和多行汉字阅读行为时字号、字距和行距对阅读工效的影响, 并通过阅读速度、正确率和眼动指标来衡量阅读工效。**结果** 在单行文本阅读中, 最佳工效组合为字号 12 pt、字间距 2 pt; 在多行文本阅读中, 最佳工效组合为字号 12 pt、字距 2 pt、行距 20 pt。**结论** 研究得到的结果能为数控机床显示器、自助服务终端等类似机械设备上汉字格式的设置提供有效依据, 让操作者能快速准确地理解 and 掌握文本信息, 避免误操作。

**关键词:** 阅读工效; 电子阅读; 文本设置; 汉字文本; 人机工效

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)24-0165-05

## Reading Efficiency of Chinese Character on CNC Equipment Displays

HU Zhi-gang<sup>1</sup>, HE Yu<sup>2</sup>, QIAO Xian-ling<sup>2</sup>, ZHOU An-qi<sup>2</sup>

(1.Xijing University, Xi'an 710021, China;

2.Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

**ABSTRACT:** It aims to research the factors that affecting the reading efficiency of Chinese text on electronic display and provide the best setting suggestions. Take CNC equipment displays as the research object and office word as the carrier, use the classical theory of ergonomics for reference and orthogonal experiment method to research how the word size, word space and line space affecting the reading efficiency when reading in single line and in multiple lines on electric displays, and evaluate the reading efficiency by reading speed, reading accuracy and eye movement index. The results show that the best efficiency combination in single line reading is 12pt in word size, 2pt in word space; in multiple lines reading is 12pt in word size, 2pt in word space, and 20pt in line space. The results of the research would provide effective basis for Chinese format setting in CNC machine, self-service termination, or other similar machine equipment, which would let operators understanding and mastery text information quickly and accurately, also prevent the faulty operations.

**KEY WORDS:** Reading efficiency; electronic reading; text setting; Chinese character; ergonomics

随着科技的发展, 信息传媒也迅速地转变着, 即从纸面打印到电子阅读, 同时, 这种转变也改变了人们阅读和理解文本的方式和过程<sup>[1]</sup>。现如今, 多种工作环境或公共场所均存在电子阅读行为, 如现代化办公、数控设备显示器、自助服务

终端以及各种互联网沟通行为。相关研究表明: 电子显示器阅读作业会给阅读者造成脑力负荷和视力损伤, 会降低阅读工效、信息获取错误。阅读工效的提升意味着在一定程度上减轻了脑力负荷<sup>[2-3]</sup>。认知心理学方面研究显示: 汉字识别存在

收稿日期: 2016-08-09

基金项目: 陕西省科学技术研究与发展计划项目 (2015GY179、2016GY-253、2016GY-258); 咸阳市科学技术研究计划项目 (2014K03-14)

作者简介: 胡志刚 (1977—), 男, 浙江人, 硕士, 西京学院副教授, 主要研究方向为人机工程学与认知心理学。

一定的笔画数效应, 字号、行间距会影响阅读工效和文字校对时间<sup>[4-5]</sup>。Eva Siegenthaler 等人研究了用户偏爱的视图区域, 亮度和背景颜色等, 用完成阅读任务和回答问题的时间以及主观指标来衡量了用户舒适度和感知效率<sup>[6]</sup>。

机电产品作为功能性较强的大型设备, 是机械系统和微电子系统的有机结合<sup>[7]</sup>, 对于数控机床来说, 操作、显示面板是数控机床的重要组成部分, 主要有显示屏、显示界面、NC 键盘、MCP 及状态灯等, 是人机交互的关键界面<sup>[8]</sup>。使用者通过人机界面实现人与产品的沟通, 达到操作使用的目的, 良好的人机界面是实现人性化操作的关键<sup>[9-10]</sup>。汉字文本设置作为界面设计的重要组成部分, 有效地格式设置能使使用效率得到提高同时避免误操作, 其设置依据有待进一步地探讨。

研究电子阅读行为和阅读工效具有十分重要的社会意义。单行和多行文本阅读行为要求的信息理解度不同, 单行文本信息注重对重点提示信息的掌握, 多行文本注重对材料的通篇理解。这里以人机工程学和认知心理学为理论依据, 通过实验研究对影响汉字阅读工效的字号、字距和行距 3 个因素, 用阅读速度、正确率及眼动指标作为评价指标找出能有效提高汉字文本阅读工效的因素间的最佳组合, 同时得到阅读屏幕单行信息文本的最佳视夹角, 为数控机床等类似带有电子显示器的设备上显示汉字格式的设置提供有效依据, 让操作者快速准确地理解和掌握信息, 做出准确的判断, 避免误操作。

## 1 实验与分析

### 1.1 实验设计

实验流程见图 1。

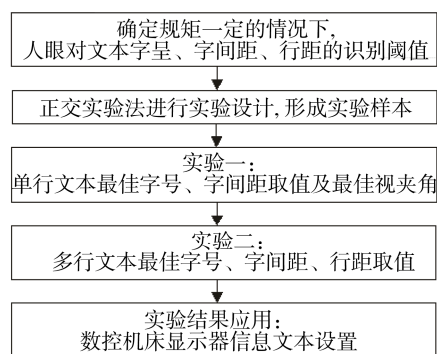


图 1 实验流程

Fig.1 Flow diagram of experiment

### 1.2 单行汉字文本阅读工效研究

#### 1.2.1 字号与字间距的取值

根据人机工程学设计与应用手册中关于字符高度的最小适宜尺寸公式  $h=0.0022d+K_1+K_2$  ( $K_1$  为照明和视觉条件校正因子, 按规定取值为 0.1524;  $K_2$  为重要性因子, 通常取 0, 重要项目取 0.1905, 此处取 0) 的规定: 在视距  $d=70$  cm 时, 计算得字符高度  $h_{min}=3.064$  mm, 根据高度与磅值转换公式  $1\text{ mm}=2.84\text{ pt}$  计算得到对应的字号最小为 9 pt, 因此, 字号取值分别为 9 pt、10.5 pt、12 pt、14 pt。手册中关于汉字宽度  $W$  的相关公式  $W=1h$  及间距  $s$  的相关公式  $s=0.2\sim 0.5W$ , 计算得到的字间距取值分别为 1 pt、2 pt、3 pt、4 pt<sup>[11]</sup>。利用正交实验法得到了能有效反应实验结果的组合  $C_i$  ( $i=1, 2, 3\cdots 16$ )。

#### 1.2.2 定义阅读工效计算公式

定义阅读工效计算公式有  $\eta=v*p$ ,  $v=r/t$ ,  $p=n/N$ , 其中  $\eta$  表示阅读工效,  $v$  表示阅读速度,  $p$  表示回答问题正确率,  $r$  表示阅读文字字数,  $t$  表示阅读时间,  $n$  表示回答问题正确个数,  $N$  表示回答问题总个数<sup>[12]</sup>。

#### 1.2.3 被试及实验材料

这里旨在为数控设备显示器、自助服务终端设备上的文本显示格式提供设置依据。考虑到当今社会大学生群体的普遍性以及本实验操作的可行性, 因此被试选择为 20 名大学生, 其中男女各半, 视力或矫正视力正常, 母语均为汉语, 没有过类似的实验经验。阅读材料的单行句子选自高一现代文阅读理解题, 字数近似 30 字到 35 字每句。每个句子设置一个问题, 类型均为判定式选择题, 设置 3 个选项。考虑到目前大多数设备上使用的字体均为宋体, 为尽可能还原设备使用真实场景, 因此将实验材料编入 Microsoft Word 软件中, 字体为宋体正文, 对每个句子按照字号和字间距的不同组合进行设置, 共 16 个句子。为避免单次实验造成的选择性误差, 共设计 3 组同类型的实验。

#### 1.2.4 阅读速度和正确率结果分析

对影响阅读速度和正确率的不同因素进行方差分析以确定变量是否有影响。在阅读速度分析中: 字体大小的影响显著 ( $F=2.645$ ,  $p<0.05$ ), 字间距影响不显著, 同时字号和字间距的交互作用影响也不显著。单因素字号影响下阅读速度最高的

是 12 pt 字号, 单因素字距影响下阅读速度最高的是 2 pt 字距。正确率统计结果显示: 字号对正确率的影响不显著, 字距影响显著( $F=4.174$ ,  $p<0.01$ ), 同时, 字号和字距的交互作用影响显著( $F=3.704$ ,  $p<0.01$ )。单因素字号影响下正确率最高的是 12 pt, 在字距单因素影响下正确率最高的是 1 pt 字距。

在字号和字间距的共同作用下, 最高的阅读速度为 12 pt 字号和 2 pt 字距, 正确率最高的组合是 14 pt 字号和 1 pt 字距, 字号和字距共同作用下的阅读速度和正确率均值见图 2。

与此同时, 阅读速度和正确率没有随着字体大小和字间距的增大而增大。使用过大的字号和字间距会导致扫视距离增加, 阅读连贯性降低, 过小的字号和字间距会造成字词辨识不清, 大的字距会使单个字词辨识率提高。总的来说, 过大或过小的字号和字间距都会使阅读工效降低。

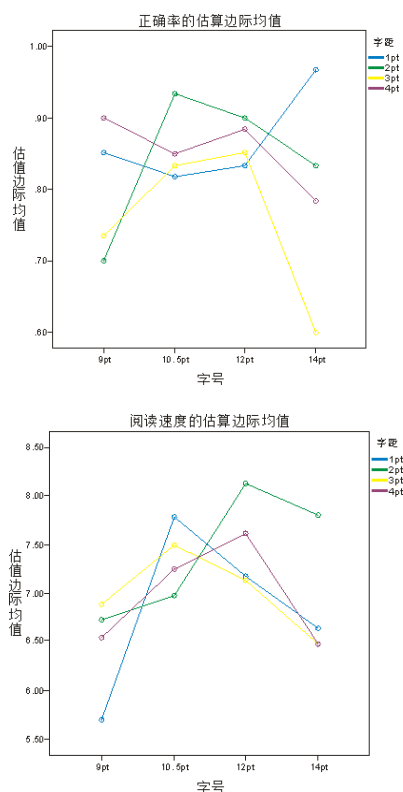


图 2 字号和字距共同作用下的阅读速度和正确率均值。

Fig.2 Reading speed and accuracy means plots influenced by font size and font space together

### 1.3 多行汉字文本阅读工效研究

#### 1.3.1 字号、字距和行距取值

以单行汉字文本阅读工效研究的实验结果为

依据, 选择字号 10.5 pt、12 pt, 字距 1 pt、2 pt, 根据人机工程学设计与应用手册中关于行间距的定义公式  $l=1.5\sim 2h$  ( $l$  表示行距,  $h$  表示字符高度) 的规定, 取行距固定值分别为 1.5  $h$ 、1.65  $h$ 、1.8  $h$ 、2  $h$ , 并得到能有效反映实验结果的组合  $D_i$  ( $i=1, 2, 3\sim 16$ )。

#### 1.3.2 被试及实验材料

多行汉字文本阅读工效的被试与单行汉字文本阅读工效的被试相同, 阅读材料选自高一现代文阅读理解题, 字数近似 1500 字每篇, 每篇文章设置 5 个问题, 均为选择题, 设置 3 个选项, 对每篇文章按照字号、字距和行距的不同组合进行设置, 共 16 篇。

#### 1.3.3 阅读速度、正确率和注视频率结果分析

对影响阅读速度和正确率的不同因素进行方差分析以确定变量是否有影响。在阅读速度分析中, 字体大小影响显著( $F=6.414$ ,  $p<0.05$ ), 行距大小影响显著( $F=3.011$ ,  $p<0.05$ ), 字距对阅读速度影响不显著, 同时三者交互作用影响也不显著。在单因素字号影响下, 平均阅读速度最高的是 12 pt 字号、2 pt 字距, 平均阅读速度最高为 22 pt。与此同时, 阅读速度也没有随着行距的增大而增大。正确率统计结果显示: 字号和行距对正确率的影响不显著, 字距对正确率的影响显著 ( $F=41.713$ ,  $p<0.01$ )。在字号单因素影响下, 正确率最高的是 12 pt 字号, 在字距单因素影响下, 正确率最高的是 2 pt 字距, 在行距单因素影响下, 正确率最高的是 20 pt 行距。注视频率为眼动指标, 与注视次数成正比, 与平均注视时间成反比, 注视次数越小则注视频率越低, 表明语义易提取, 理解更容易, 注视频率能够反应阅读加工整体情况。对注视频率统计结果进行方差分析, 结果显示字距对注视频率的影响不显著, 字号对注视频率的影响显著( $F=7.863$ ,  $p<0.05$ ), 行距对注视频率的影响显著( $F=2.097$ ,  $p<0.05$ )。字号单因素影响下注视频率低的是 12 pt, 字距单因素影响下注视频率低的是 2 pt 字距, 行距单因素影响下注视频率最低的是 20 pt 行距。字号、字距、行距单因素影响下的阅读速度、正确率、注视频率平均值和标准差见表 1。

#### 1.3.4 组合分析

对 16 个组合  $D_i$  ( $i=1, 2, 3\sim 16$ ) 进行方差及均值分析, 结果显示:  $D_{12}$  在多行阅读实验中的阅

表 1 字号、字距、行距单因素影响下的阅读速度、正确率、注视频率的平均值和标准差  
Tab.1 The mean and standard deviation of reading speed, accuracy and fixation rate influenced by font size, font space or line space

|    |         | N   | 阅读速度 |      | 正确率  |      | 注视频率 |      |
|----|---------|-----|------|------|------|------|------|------|
|    |         |     | 均值   | 标准差  | 均值   | 标准差  | 均值   | 标准差  |
| 字号 | 10.5 pt | 144 | 7.27 | 2.56 | 0.80 | 0.20 | 0.62 | 0.12 |
|    | 12 pt   | 144 | 8.02 | 2.52 | 0.84 | 0.18 | 0.58 | 0.14 |
| 字距 | 1 pt    | 144 | 7.43 | 2.98 | 0.76 | 0.21 | 0.61 | 0.13 |
|    | 2 pt    | 144 | 7.86 | 2.51 | 0.90 | 0.14 | 0.59 | 0.13 |
| 行距 | 15 pt   | 36  | 7.56 | 2.74 | 0.81 | 0.22 | 0.62 | 0.10 |
|    | 17 pt   | 36  | 6.72 | 1.98 | 0.75 | 0.20 | 0.64 | 0.11 |
|    | 19 pt   | 36  | 7.57 | 2.41 | 0.79 | 0.20 | 0.62 | 0.12 |
|    | 21 pt   | 36  | 7.24 | 2.65 | 0.86 | 0.15 | 0.61 | 0.12 |
|    | 18 pt   | 36  | 7.13 | 2.40 | 0.83 | 0.19 | 0.62 | 0.14 |
|    | 20 pt   | 36  | 8.87 | 1.97 | 0.85 | 0.18 | 0.54 | 0.14 |
|    | 22 pt   | 36  | 9.03 | 2.68 | 0.84 | 0.16 | 0.57 | 0.13 |
|    | 24 pt   | 36  | 8.27 | 2.87 | 0.85 | 0.21 | 0.58 | 0.14 |

读速度、正确率及注视频率 3 项指标上均显示了较好的工效性。 $D_{I2}$  的 3 项因素分别为字号 12 pt、字距 2 pt、行距 20 pt。

2 讨论

文字符号的视觉效果取决于字符尺寸、照度水平、字符与背景之间的对比度和字符的形体易读性。一个字符在不同距离上会产生不同的视网膜像，字符大小常以字高所对应的视角来衡量。

字号、字距和行距会影响文字符号的视觉效果，从而影响阅读工效。阅读单行汉字文本时，在字号和字距综合影响下，12 pt 字号 2 pt 字间距阅读速度最快；14 pt 字号 1 pt 字间距正确率最高，同时，12 pt 字号 2 pt 字间距阅读工效最高，因此，认为 12 pt 字号和 2 pt 字间距是能提高单行阅读工效的最佳组合。阅读多行汉字文本时，字号、字距和行距综合影响下综合来看，影响多行汉字文本阅读工效的最佳组合为字号 12 pt、字距 2 pt、行距 20 pt。同时，结果显示：过小的字号和字间距造成信息辨识度不清，影响阅读工效；过大的字号和字间距造成扫视距离增长，阅读连贯性降低，也不能有效提高阅读工效。

字符识别的 3 个要素为视距、字符高度、视夹角，字符的视觉识别要素见图 3，其中视夹角恒定时，字符高度应随着视距的增大而增大。字符识别

夹角  $\alpha$  推荐值为 18'~22'。在字符高度为 12 pt 时，通过公式  $\alpha = 2\arctan(h/2d)$  计算得到的最佳垂直视夹角为 21'，在推荐值范围内，实验结果与人机工程学经典理论推荐值一致，并进一步得出了阅读屏幕单行信息文本的最佳视夹角。字符高度  $h$  为 12 pt 时的字间距  $s$  为 2 pt，因此，得到  $h \approx 6s$ 。在视夹角  $\alpha$  一定的情况下，不同的视距  $d$  对应的不同字符高度公式为  $h=2d*\tan[1/(2*21')]$ 。

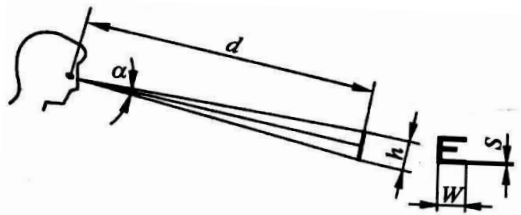


图 3 字符的视觉识别要素  
Fig.3 Visual identity elements of character

3 结语

这里通过实验，分别得到了能有效提高单行及多行汉字文本的阅读工效的字号、字距和行距最佳组合，同时得到了显示器上单行文字识别的垂直视夹角，为数控机床等类似带有电子显示器的设备上显示汉字格式的设置提供了有效依据，能让操作者快速准确地理解和掌握信息，从而作出准确判断，避免误操作。同时，这里研究结果的合理性证明了

实验设计的可行性, 可以为今后类似研究提供有效的实践依据。

#### 参考文献:

- [1] JAYEETA B. Selection of the Optimum Font Type and Size Interface for on Screen Continuous Reading by Young Adults: An Ergonomic Approach[J]. Ergol, 2011(40): 47—62.
- [2] 彭晓武. VDT 作业脑力劳动负荷评价的实验研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.  
PENG Xiao-wu. Experimental Study on the Mental Workload Evaluation During Performance on VDT[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006.
- [3] 柯胜海, 赵蓉. 论从设计环节减少电子阅读对视力的损伤度[J]. 包装工程, 2014, 35(2): 40—43.  
KE Sheng-hai, ZHAO Rong. Design Link to Reduce Damage of Electronic Reading to Eyesight[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(2): 40—43.
- [4] 祝莲, 王晨晓, 贺极苍. 中文字体大小、笔画数和对比度对阅读速度的影响[J]. 眼视光学, 2008(2): 96—99.  
ZHU Lian, WANG Chen-xiao, HE Ji-cang. The Effects of Font, Stroke and Contrast on the Reading Speed of Chinese Characters[J]. Chinese Journal of Optometry & Ophthalmology and Visual Science, 2008(2): 96—99.
- [5] CHAN A, TANG S. Effects of Line Length, Line Spacing, and Line Number on Proofreading Performance and Scrolling of Chinese Text[J]. Hum Factors, 2014, 56(3): 31—34.
- [6] SIEGENTHALER E, WURTZ P. Comparing Reading Processes on E-ink Displays and Print[J]. Displays, 2011(5): 268—273.
- [7] 徐秋莹, 鲁玉, 杨明朗. 信息交互类机电产品的人机界面设计研究[J]. 机械设计与制造, 2012(10): 38—40.  
XU Qiu-ying, LU Yu, YANG Ming-lang. Human-computer Interface Research on Information Exchange Mechanical and Electrical Products[J]. Machinery Design & Manufacture, 2012(10): 38—40.
- [8] 晏群, 庄德红. 数控机床人机界面及造型设计研究[J]. 机械设计, 2013, 12(12): 111—113.  
YAN Qun, ZHUANG De-hong. Research on Human-machine Interface and Modeling Design of the CNC Lathe[J]. Machine Design, 2013, 12(12): 111—113.
- [9] 孙志学, 韩超艳. 公共设施人性化设计解[J]. 机械设计, 2013, 9(9): 126—128.  
SUN Zhi-xue, HAN Chao-yan. Analysis on Humanized Design of Public Facilities[J]. Machine Design, 2013, 9(9): 126—128.
- [10] 贺兆达, 季铁, 袁翔. 跨平台数字阅读的“通用”界面模式设计探索[J]. 包装工程, 2013, 34(18): 54—57.  
HE Zhao-da, JI Tie, YUAN Xiang. Exploration of "Universal" UI Pattern Design of Cross-platform Digital Reading[J]. Packaging Engineering, 2013, 34 (18): 54—57.
- [11] 童时中. 人机工程设计与应用手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.  
TONG Shi-zhong. Ergonomic Design and Application Manual[M]. Beijing: China Standards Press, 2007.
- [12] 王庆, 徐海松, 宫睿. 光环境对视疲劳症状的影响分析[J]. 流行色, 2014(2): 137—140.  
WANG Qing, XU Hai-song, GONG Rui. Analysis of the Light Environmental Impact on Visual Fatigue[J]. Fashion Color, 2014(2): 137—140.