

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2019.03.013

# 幻灯片配色方案认知效率的眼动研究

柯畅,肖冰,赵琛,方金城

(福建工程学院 交通运输学院,福建 福州 350118)

**摘要:** 基于眼动实验,研究幻灯片的配色方案对于人们认知效率的影响。幻灯片的背景颜色和字体颜色分别从黑色、白色、黄色和蓝色这 4 种颜色中选取。将背景颜色与文字颜色较为接近的方案从候选方案中剔除后,对 8 组配色方案进行实验研究。研究结果表明,不同配色方案对于人们完成任务的时间、平均注视时间和注视次数均有显著影响。白底黑字的方案下,人们完成任务的时间和平均注视时间都最短,注视次数最多;蓝底黄字的方案次之。

**关键词:** 幻灯片;配色方案;眼动;认知效率

**中图分类号:** TP37

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-4348(2019)03-0279-05

## Eye movement research on the cognitive efficiency for color schemes of the slides

KE Chang, XIAO Bin, ZHAO Chen, FANG Jincheng

(School of Transportation, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** The effects of color schemes of the slides on people's cognitive efficiency were studied by carrying out the eye movement experiments. The color for the background and the font of the slides are selected from the four colors of black, white, yellow and blue. After removing the color schemes whose background color and font color are similar from the candidate schemes, a total of 8 color schemes were studied. Results indicate that the color scheme has significant influence on people's task completing time, average fixation duration and number of gazes. The black-on-white scheme has both the shortest time to complete the task and the shortest average fixation duration, and the largest number of gazes. The yellow-on-blue scheme is second to it on all the three parameters.

**Keywords:** slide; color scheme; eye movement; cognitive efficiency

幻灯片可以为人们演讲时提供必要的内容信息,在演讲和教学的过程中被大量使用。幻灯片设计的一个重要方面是关于配色方案的选择,幻灯片的配色涉及到背景和字体的颜色,合理的配色方案可以提高人们对课件内容的认知效率。研究幻灯片的配色方案对于人们认知行为以及相应的眼动行为的影响,有助于合理地设计幻灯片,提高演讲或教学的效率。

背景与文字的色彩搭配会影响人们的阅读认知行为,不恰当的配色会影响认知绩效<sup>[1-2]</sup>,并可

能造成视觉上的不适<sup>[3]</sup>。在色彩搭配中考虑的一个重要因素是色彩的对比,提高背景色与字体色的对比有利于提高阅读认知的效率<sup>[1,4-5]</sup>。Zeliang Cheng<sup>[5]</sup>等以 LED 屏为介质开展的实验表明,随着背景与字体颜色色彩差异的增大,文字的识别效率也会随之提升,色彩 RGB 指标中的 G 值差异越大,效率提升越显著。在比较多种配色方案后,多项研究认为白底黑字的配色方案在可读性方面是最好的<sup>[4,6-7]</sup>。Jacob Nielsen<sup>[4]</sup>等还指出黑底白字的效果也比较好,但其在阅读速度上

收稿日期: 2018-10-17;修回日期: 2019-05-16

基金项目: 福建省中青年教育科研项目(JJ180353);福建省社科规划一般项目(FJ2018B040)

第一作者简介: 柯畅(1983-),女,福建福州人,实验师,硕士,研究方向:人因工程领域。

稍逊于白底黑字。Zorko<sup>[7]</sup>等在实验中,认为白底黑字配色方案阅读的错误率也是最低的。岳松<sup>[8]</sup>提出采用高亮度低饱和度的背景色彩和低亮度高饱和度的文本色彩搭配的网页,可以给用户较好的感官体验和满意度。Gattullo<sup>[9]</sup>等研究了工业增强现实环境下文字的配色方案,指出对增强现实情境中的文字配置对比差异大的背景色,可以提升文字的识别效率。

关于幻灯片配色方案的选择,过往的研究也做了专门的讨论。林燕<sup>[10]</sup>认为暗文图色和亮背景色的 PPT 配色效果最好,尤其是白底黑字的配色方案,在教室用投影仪播放时能达到最好的播放效果。K.Nakamura<sup>[11]</sup>等从考虑色盲人群的角度提出幻灯片的基本颜色应以黑色、蓝色、白色和黄色为主。关尔群<sup>[2]</sup>采用白色背景 and 不同颜色的文字搭配的幻灯片,验证了不同颜色的文字对于阅读的记忆成绩存在显著影响。

结合眼动实验研究人们的认知效率,可以更深入地发掘造成认知行为差异的生理因素。例如,注视时间的长短可以反映阅读的难易程度<sup>[12]</sup>。不同颜色的字体对于人们的注视次数、平均注视时间和注视频率均会产生显著的影响<sup>[2]</sup>。Zorko<sup>[7]</sup>等指出阅读效率较低的配色方案可能是因为其容易造成眼部疲劳,使得被试不愿意持续注视。岳松的研究表明阅读的背景色彩会对人们的瞳孔大小造成显著影响,从而影响阅读时的疲劳程度<sup>[8]</sup>。关尔群通过注视次数和注视持续时间来分析人们对不同色彩文字的注意程度<sup>[2]</sup>。

因此,本文拟通过被试完成幻灯片上任务的速度研究不同配色方案的幻灯片对于人们认知效率的影响,并结合眼动数据分析造成认知效率差异的机理。

1 眼动实验设计

1.1 幻灯片配色方案的确定

配色方案的研究常用 RGB<sup>[2,5-6]</sup>和 HSL<sup>[8]</sup>两种模型来表示色彩。色彩的 RGB 值和 HSL 值可以互相转换,也有的研究采用文字来表述色彩<sup>[1]</sup>,该方法对色彩表述的准确性较差。本研究拟采用 RGB 模型来表示色彩。

本研究拟从黑色、蓝色、白色和黄色这 4 种颜色中选取幻灯片的背景颜色和字体颜色,这 4 种颜色为主色调的幻灯片有利于色盲人群的阅

读<sup>[11]</sup>,4 种颜色设定的配色方案可以适合包括视力正常和色盲人群在内的阅读认知。它们所对应的 RGB 值分别为黑色 (0, 0, 0)、蓝色 (0, 0, 255)、白色 (255, 255, 255) 和黄色 (255, 255, 0)。通过公式(1)计算不同色彩 RGB 差异值,以分析背景色与字体颜色差异的大小。

$$\| \Delta C \| = \sqrt{3 \times \Delta R'^2 + 4 \times \Delta G'^2 + 2 \times \Delta B'^2}$$

(1)

$$\Delta R = C_{1,R} - C_{2,R}$$

$$\Delta G = C_{1,G} - C_{2,G}$$

$$\Delta B = C_{1,B} - C_{2,B}$$

式中,  $C_{i,R}$  表示第  $i$  种色彩的  $R$  值,  $C_{i,G}$  表示第  $i$  种色彩的  $G$  值,  $C_{i,B}$  表示第  $i$  种色彩的  $B$  值。

计算结果如表 1 所示。

表 1 不同配色方案的 RGB 色彩差异值

Tab.1 RGB difference between different color schemes

色彩	黑色	白色	蓝色	黄色
黑色	0.00	765.00	360.62	674.67
白色	765.00	0.00	674.67	360.62
蓝色	360.62	674.67	0.00	765.00
黄色	674.67	360.62	765.00	0.00

从表 2 看出黑蓝配色和黄白配色的 RGB 差异值最小,黑白配色和蓝黄配色的 RGB 差异值最大。

同时,利用公式(2)将色彩的 RGB 值转换成人眼主观亮度值,再计算不同色彩搭配的主观亮度值的差异。

$$((R \times 299) + (G \times 587) + (B \times 114)) / 1\,000$$

(2)

计算结果如表 2 所示。

表 2 不同色彩的主观亮度值及其差异值

Tab.2 Subjective brightness value of different colors and the difference between them

色彩	黑	白	蓝	黄
主观亮度值	0	254.745	28.815	225.93
黑	0	254.745	28.815	225.93
主观亮度值 白	254.745	0	225.93	28.815
差异值 蓝	28.815	225.93	0	197.115
黄	225.93	28.815	197.115	0

从表 2 看出黑蓝配色和黄白配色的主观亮度差异值最小,为 28.815。黑白配色主观亮度差异值最大,为 254.745。

黑蓝配色和黄白配色的 RGB 颜色差异值在各个配色方案中也最小。因此,剔除这两组色彩差异最小的配色方案。最后确定研究的八组配色方案为:白底黑色、白底蓝色、黑底白色、黑底黄色、黄底黑色、黄底蓝色、蓝底白色和蓝底黄色。

1.2 实验器材

对上述每组配色方案分别制作对应的 PPT。由于不同文字的难易程度存在着差异,此外文字的语义也会对于认知效率产生影响,为了尽量避免阅读内容的难度以及文字的语义对于阅读效率产生影响,将幻灯片内容设为 10 以内加法。在日常教学中,数字内容通常在幻灯片中的应用也较多,因此以数字内容为基础研究幻灯片的配色方案具有合理性。每种配色的 PPT 均是 5 道 10 以内加法,字体均为黑体 44 号。为了排除浏览连续两张 PPT 对眼动行为的影响,在两张 PPT 之间插入一张黑色背景过渡页。提示语“单击继续”标于背景过渡页的中间。

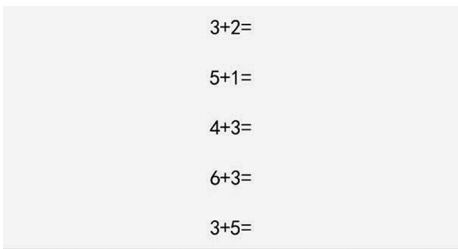


图 1 实验幻灯片示意图

Fig.1 Illustration of slides used in the experiment

所采用的仪器为 Tobii 眼动仪和 24 英寸显示器。被试者坐于显示器前 75 cm 处左右的位置。所采用的眼动分析软件为 ErgoLAB 人机环境同步系统。

1.3 实验被试

被试对象为 20 名本科生,年龄在 20~22 岁之间,男性和女性各 10 名。所有被试者视力或矫正视力正常,且为自愿参加本实验。

1.4 实验流程

(1) 被试进入实验室,对实验室环境进行熟悉。

(2) 在光线柔和的房间内,让被试者入座并调整座椅与显示器距离,被试者正对显示屏,人眼

与显示屏的距离为 60 cm 左右,并随时提醒被试者保持坐姿和距离。

(3) 对被试进行眼动校正。

(4) 打开 PPT,呈现指导语:“请以正常的速度阅读下面内容,依次说出算数答案后按空格键结束阅读,阅读过程中尽量保持头部不动,清楚了吗? 清楚后请按键开始”。提供给被试者一页用来练习的 PPT,经过练习被试者掌握阅读方法后,进入正式实验。

(5) 被试者确认清楚要求后按键开始测试,每完成一页内容后,按空格键翻页,每个被试完成 8 页不同配色方案的任务。

(6) 主试者同时记录被试者的答题结果。

(7) 一个被试结束实验后,对于不同配色幻灯片的播放顺序进行随机调整,避免播放顺序对于视认行为的影响。

1.5 实验变量及设计

本实验采用单因素方差分析的实验设计,因素共 8 个水平,即 8 种幻灯片配色方案。

因变量指标包含两类,一类是反映被试在阅读过程中的认知绩效,包括算术答题的错误数以及完成时间;另一类是反映被试眼动行为的眼动指标,包括注视点个数、平均注视时间。

由于实验的计算过程简单,所有被试在计算过程中均无错误,故最后采用的因变量指标为答题完成时间、注视点个数和平均注视时间。

答题完成时间指的是从一张幻灯片页面出现到被试点击空格键结束该页面的时间。注视点个数为被试在一张幻灯片页面内的注视次数。平均注视时间为被试在一张幻灯片页面里的平均注视行为的时间长度。

1.6 数据分析方法

本研究拟采用单因素重复测量方法来分析不同配色方案对于被试认知效率和眼动行为的影响,影响因素为 8 种配色方案。采用莫奇来球形度检验来验证指标变量是否满足球形假设,即 8 种配色方案下因变量的协方差矩阵是否相等。如果检验结果不符合球形假设,则采用格林豪斯-盖斯勒校正后的单因素重复测量方差分析结果。

2 实验结果分析

2.1 不同配色方案对完成题目时间的影响

对不同配色方案完成题目的时间进行单因素

可重复测量方差分析。莫其来球形度检验显示,  $\chi^2 = 113.074, P = 0.00, P < 0.05$ , 故不同配色方案的完成题目时间不满足球形假设, 拟采用格林豪斯-盖斯勒方法进行校正。

格林豪斯-盖斯勒方法校正结果显示不同配色方案的幻灯片对于完成题目时间具有显著的影响,  $F(2.053, 39.005) = 35.267, P = 0.000$ 。

不同配色方案下被试的平均完成题目时间如图 2 所示。在 95% 的置信水平下, 白底黑字、白底蓝字、黄底黑字、黄底蓝字、黑底白字、黑底黄字、蓝底白字、蓝底黄字的平均完成题目时间分别为  $2.455 \pm 0.051$ 、 $7.461 \pm 0.906$ 、 $4.501 \pm 0.567$ 、 $9.691 \pm 1.963$ 、 $4.136 \pm 0.516$ 、 $4.159 \pm 0.352$ 、 $2.948 \pm 0.497$ 、 $(2.845 \pm 0.504)$  s。

平均完成题目时间由低到高所对应的配色方案分别是: 白底黑字, 蓝底黄字, 蓝底白字, 黑底黄字, 黑底白字, 黄底黑字, 白底蓝字, 黄底蓝字。

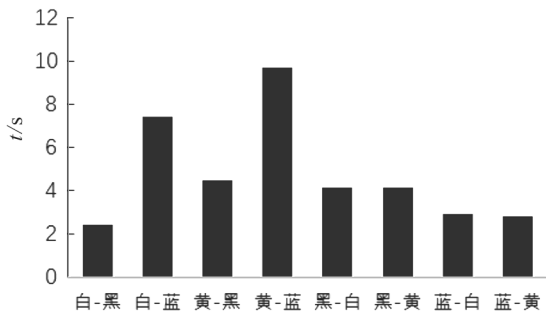


图 2 在不同配色方案下被试完成题目的平均时间  
Fig.2 Average time to complete the task under different color schemes

2.2 不同配色方案对平均注视时间的影响

对不同配色方案下被试的平均注视时间进行单因素可重复测量方差分析。莫其来球形度检验显示,  $\chi^2 = 85.396, P = 0.00, P < 0.05$ , 故不同配色方案的平均注视时间不满足球形假设, 拟采用格林豪斯-盖斯勒方法进行校正。

格林豪斯-盖斯勒方法校正结果显示不同配色方案的幻灯片对于平均注视时间具有显著的影响,  $F(2.773, 52.691) = 67.703, P = 0.000$ 。

不同配色方案下被试的平均注视时间如图 3 所示。在 95% 的置信水平下, 白底黑字、白底蓝字、黄底黑字、黄底蓝字、黑底白字、黑底黄字、蓝底白字、蓝底黄字平均注视时间分别为  $1.014 \pm 0.058$ 、 $2.428 \pm 0.216$ 、 $1.146 \pm 0.111$ 、 $1.456 \pm 0.059$ 、

$1.106 \pm 0.087$ 、 $2.233 \pm 0.263$ 、 $1.135 \pm 0.111$ 、 $(1.085 \pm 0.076)$  s。

平均注视时间由低到高所对应的配色方案分别是白底黑字, 蓝底黄字, 黑底白字, 蓝底白字, 黄底黑字, 黄底蓝字, 黑底黄字, 白底蓝字。

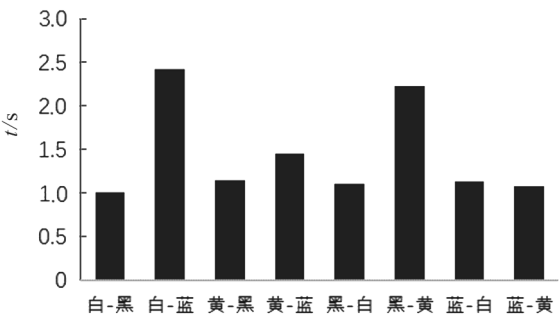


图 3 在不同配色方案下被试的平均注视时间  
Fig.3 Average fixation duration under different color schemes

2.3 不同配色方案对注视次数的影响

对不同配色方案下被试的注视次数进行单因素可重复测量方差分析。莫其来球形度检验显示,  $\chi^2 = 46.822, P = 0.12, P < 0.05$ , 故不同配色方案的注视次数不满足球形假设, 拟采用格林豪斯-盖斯勒方法进行校正。

格林豪斯-盖斯勒方法校正结果显示不同配色方案的幻灯片对于注视次数具有显著的影响,  $F(4.869, 92.519) = 19.490, P = 0.000$ 。

不同配色方案下被试的平均注视次数如图 4 所示。在 95% 的置信水平下, 白底黑字、白底蓝字、黄底黑字、黄底蓝字、黑底白字、黑底黄字、蓝底白字、蓝底黄字的平均注视次数分别为  $4.45 \pm 0.051$ 、 $3.10 \pm 0.336$ 、 $2.65 \pm 0.462$ 、 $1.95 \pm 0.321$ 、 $3.90 \pm 0.566$ 、 $3.85 \pm 0.410$ 、 $2.15 \pm 0.349$ 、 $4.3 \pm 0.609$ 。

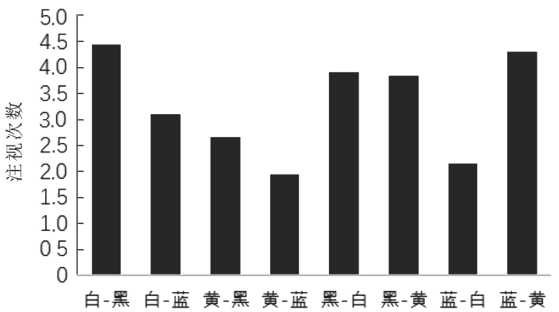


图 4 在不同配色方案下被试的平均注视次数  
Fig.4 Average fixation times under different color schemes



平均注视次数由高到低所对应的配色方案分别是白底黑字,蓝底黄字,黑底白字,黑底黄字,白底蓝字,黄底黑字,蓝底白字,黄底蓝字。

### 3 总结和讨论

研究结果表明:不同配色方案对于完成题目的时间、平均注视时间和注视次数均有显著影响。完成题目速度最快、平均注视时间最短和注视次数最多的配色方案均为白底黑字,其次为蓝底黄字。

1)白底黑字的配色方案完成任务的速度最快,说明此配色方案的可读性最佳,该结论与 Jacob<sup>[4]</sup>、Richard<sup>[6]</sup>及 Zorko<sup>[7]</sup>等的研究结果一致。

2)白底黑字和蓝底黄字的配色方案完成题目速度优于其他的配色方案,其中白底黑字方案的阅读效率最佳。比较各个配色方案的色彩 RGB 差异值和亮度差异值,黑白配色和蓝黄配色的差异值均最大。本研究进一步验证了增强背景色与字体色的对比有利于提高阅读效率<sup>[1,4-5]</sup>。

3)白底黑字和蓝底黄字的配色方案平均注视时间短于其他配色方案,白底黑字的配色方案平均注视时间最短。这说明这两种配色方案有利

于人们更快地提取注视点的信息。笔者认为这是这两种方案的阅读认知效率较优的原因。

4)白底黑字和蓝底黄字的配色方案的注视次数均多于其他的配色方案,白底黑字的幻灯片被注视次数最多。在其他研究中也同样发现白底黑字的方案注视次数最多的现象<sup>[2]</sup>。本研究认为,该现象与人们的视觉行为有关。人的视觉有中央凹视觉和周边视觉。中央凹视觉用于提取对象的详细信息,周边视觉用于处理和构建注视对象周边的内容信息。白底黑字和蓝底黄字的配色方案可读性好,中央凹视觉更快地提取注视点的信息,平均注视时间短。由于注视点停留时间短,周边视觉所能处理的注视点周围的信息内容较少。因此,在这两种配色方案下,要获取任务的全部信息需要更多的注视点,从而造成被试的注视次数更多。

研究结果显示白底黑字和蓝底黄字的配色方案可读性最佳,但同时这两种配色方案的注视次数也最多,容易造成视觉疲劳,长时间的使用过程中需要注意适当休息。

本文研究结果可以进一步拓展,作为其他阅读介质或者幻灯片内容配色方案研究的基础。

### 参考文献:

- [1] OHLSSON K, NILSSON L G, RONNBERG J. Speed and accuracy in scanning as a function of combinations of text and background colors[J]. International Journal of Man-Machine Studies, 1981, 14(2): 215-222.
- [2] 关尔群. 多媒体课件中不同色彩文字材料对阅读影响的眼动研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2003.
- [3] MATTHEWS M L. The influence of colour on CRT reading performance and subjective comfort under operational conditions[J]. Applied Ergonomics, 1987, 18(4): 323-328.
- [4] NIELSEN J. Designing web usability: the practice of simplicity[M]. [S.l.]: New Riders Publishing, 1999.
- [5] CHENG Z, VAHDAT V, LIN Y. A novel approach to study the effect of font and background color combinations on the text recognition efficiency on LCDs[J]. Arxiv Preprint ar Xiv, 2018, 1812: 08842.
- [6] HALL R H, HANNA P. The impact of web page text-background colour combinations on readability, retention, aesthetics and behavioural intention[J]. Behaviour & Information Technology, 2004, 23(3): 183-195.
- [7] ZORKO A, IVANČIĆVALENKO S, TOMIŠA M, et al. The impact of the text and background color on the screen reading experience[J]. TehniČkiglasnik, 2017, 11(3): 78-82.
- [8] 岳松. 阅读类网页背景与文本的配色研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2014.
- [9] GATTULLO M, UVA A E, FIORENTINO M, et al. Legibility in industrial AR: text style, color coding, and illuminance[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2015, 35(2): 52-61.
- [10] 张燕. 投影教学 PPT 课件配色的研究[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版), 2014 (2): 41-45.
- [11] NAKAMURA K, OKAZIMA S. Color blindness and color of slide[J]. Journal of the Science Association of Japan, 2001, 25(3): 212.
- [12] RAYNER K, DUFFY S A. Lexical complexity and fixation times in reading: effects of word frequency, verb complexity, and lexical ambiguity[J]. Memory & Cognition, 1986, 14(3): 191-201.