

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

燈光色彩、照明亮度、與螢幕亮度組合對於視覺作業績效 影響之研究(II) 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 97-2221-E-168-029-
執行期間：97年08月01日至98年07月31日
執行單位：崑山科技大學企業管理系

計畫主持人：林清泉

計畫參與人員：講師級-兼任助理人員：曾惠青
講師級-兼任助理人員：黃淑英

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 98年08月19日

燈光色彩、環境照明、與螢幕亮度組合對於視覺作業績效影響之研究(II)

Effects of Lighting Color, Ambient Illumination and Screen Luminance Combination on Visual Performance –II

計畫編號：NSC 97-2221-E-168-029-

執行期限：97年8月1日至98年7月31日

主持人：林清泉 崑山科技大學 企業管理系

研究助理：黃淑英、曾惠青 崑山科技大學 視覺傳達設計系

一、中文摘要

本研究的目的是在探討燈光色彩、環境照明、螢幕亮度組合(背景亮度與背景色彩)對薄膜液晶螢幕的視覺績效(文字辨識)之影響。結果顯示環境照明與背景亮度二個因素對視覺績效的影響達到顯著水準。環境照明於 500 lx 的視覺績效優於 250 lx；背景亮度於 40 cd/m² 優於 20 cd/m² 與 10 cd/m²。燈光色彩與背景色彩對視覺績效的影響皆未達統計上的顯著水準。

在交互作用方面，環境照明與背景亮度的交互作用達到顯著水準。在低背景亮度時較高環境照明的視覺績效明顯優於低環境照明。燈光色彩與背景色彩的交互作用達到顯著水準，在白色燈光時，背景色彩為 Cyan 的視覺績效明顯優於黃色燈光。

關鍵詞：燈光色彩、環境照明、背景亮度、背景色彩

Abstract

This study investigated the effects of lighting color, ambient illumination, background luminance, and background color on visual performance with TFT-LCD screen. Results showed that ambient illumination and background luminance were significantly affected visual performance. Subjects performed better with the higher ambient illumination and background luminance.

The interaction effect of ambient illumination and background luminance was significantly affected visual performance. Under low background luminance, high ambient illumination resulted in better visual performance than low ambient illumination condition. The interaction effect of lighting color and background color was significantly

affected visual performance. Under cyan background color condition, white lighting resulted in better visual performance than yellow lighting.

Keywords: Lighting color, Ambient illumination, Background luminance, Background color

二、緒論

基本上，燈光色彩、環境照明、與螢幕亮度組合(背景亮度與背景色彩)對於視覺績效(文字辨識)有顯著影響。

當螢幕置放於燈光環境中，將產生表面光線反射。因此，環境照明為影響視覺作業績效的重要因素。由其在許多高科技廠房的黃光區(photo area or litho area)照明下，黃色燈光對於薄膜液晶螢幕的視覺績效影響也有探討的必要性，並且燈光色彩也會影響視覺績效(Huang, 2007)。過去以CRT而言，環境照明亮度約介於150 lx至500 lx之間(Helander and Rupp, 1984)。TFT-LCD 螢幕雖然表面有抗眩光膜(anti-glare polarizer)以減少表面光線反射(Choi and Myasaka, 1993)，但仍會反射部分光線，對視覺造成影響(Kubo, et al., 2000)。一般而言，由於螢幕表面的光線反射，將使螢幕亮度些微增加(Pawlak, 1986)。Krantz, et al. (1992)指出，反射光線與環境照明有關。因此，螢幕的實際亮度對比受環境照明的影響(Hori and Kondo, 1993; Chung and Lu, 2003)。過去的研究均指出環境照明對於視覺績效的影響顯著，Shieh and Lin (2000)指出在正常環境照明(450 lx)下的視覺績效，優於較低環境照明(200 lx)的視覺績效。環境照明不只影響螢幕亮度，也會影響螢幕上呈現的色彩

(Yoshida and Yamamoto, 2003)。但是，有關於環境照明影響TFT-LCD視覺作業績效的研究相當缺乏。Helander and Rupp (1984)更指出，在未來平面顯示器(flat panel displays, FPDs)更普及後，環境照明對於視覺績效的影響需要更進一步的研究。

Zhu and Wu (1990)指出螢幕亮度(screen luminance)與亮度對比(contrast ratio)對於視覺績效有顯著的交互作用。也就是說，在相同的亮度對比下，不同的背景/目標螢幕亮度組合其視覺績效有可能不同，甚至。雖然提高亮度對比可以改善視覺績效，但由於螢幕亮度的增加卻會影響視覺績效。甚至亮度對比也會影響閱讀者的腦波(Shieh, et al., 2005)。雖然眾所周知亮度對比可以改善視覺績效(Lin, 2003; Shieh and Lin, 2000; Zhu and Wu, 1990; Humar, et al., 2008)，但是不同的背景/目標螢幕亮度組合卻會有相同的亮度對比，例如：80 cd/m² vs. 20 cd/m²、40 cd/m² vs. 10 cd/m²、與20 cd/m² vs. 5 cd/m²的背景/目標螢幕亮度組合卻會有相同的亮度對比4 : 1。Zhu and Wu (1990)以及Lin (2005)均指出亮度對比與螢幕亮度間具有交互作用，但是其交互作用如何影響視知覺績效，仍需要進一步的研究探討。截至目前為止，何種背景/目標螢幕亮度組合較佳仍未有定論。並且，螢幕色彩對於視覺績效也有顯著的影響(Al-Harkan and Ramadan, 2005; Humar, et al., 2008; Michalski and Grobelny, 2008)。因此，螢幕亮度組合需要進一步的研究探討。本研究將螢幕亮度組合區分成背景亮度與背景色彩二個因素，以避免效應的混淆。

所以，本研究探討燈光色彩、環境照明、背景亮度、與背景色彩對於視覺績效的影響。

三、實驗方法

3.1 實驗設計

實驗包括四個主要自變數：燈光色

彩、環境照明、背景亮度(螢幕亮度組合)、與背景色彩。文字均為灰色，CIE 值(x, y)為(0.3202, 0.3539)，亮度為5 cd/m²。實驗採用色彩之CIE(L, x, y)與RGB code value如附錄一所示。

燈光顏色有黃與白二種顏色。環境照明有250 lx與500 lx二種水準。背景亮度有40、20與10 cd/m²等3種水準。背景色彩有Red、Green、Blue、Yellow、Purple、Cyan與Gray等7種水準。實驗的四個主要自變數均為受測者內變數。

3.2 實驗對象

受測者為19~22歲的大學生男女各15位，矯正後的視力均高於16/20，且無色盲。

3.3 實驗設備

CIE 色彩值使用 Leiko 色彩分析儀(Minolta chroma analyzer DT-100)加以測定。TFT-LCD 為 IBM 筆計型電腦之14.1吋螢幕，螢幕對角尺寸為358 mm，可視範圍為寬287 mm乘以高215 mm，螢幕解析度為1024 × 768，像素大小為0.28 mm。

實驗的VDT工作站設置，螢幕置於高度為70公分的桌面上，螢幕中心至桌面高15公分，螢幕中心至桌子邊緣為50公分，螢幕仰角(screen inclination)為105度(Turville, et al., 1998)。以上這些尺寸均以固定，但在實驗前受試者可以先行調整其座椅高度，無螢幕眩光(glare)。實驗時受測者的眼睛與螢幕中心的視距保持為50公分。

3.4 實驗程序

受試者主要進行識認作業，其工作是儘量將螢幕中央顯示的大寫英文字母看清楚，並將所識認出的字母記錄下來。每次在螢幕上出現字母之前，有一”嗶”聲提醒受試者注意，”嗶”聲之後1秒鐘，螢幕中央便出現4個字母，字母的呈現時間為0.2秒(約為1個凝視時間)。字母的呈現位置，

分佈在直徑約為 2 公分的圓形四周，每個字母的高度為 3.6 mm (12p)，視角為 20 分弧度，整體視角約為 2 度。

受試者每次有 6 秒鐘的時間將其所識認出的字母寫下來，每次實驗處理須進行 26 回的識認作業，每回有 4 個位置，每個位置出現 1 個字母，進行 26 回，這 26 個字母(A~Z)於每個位置隨機出現 1 次，總計每次實驗處理受視者須識認 104 個字母。每次實驗處理共須花費約 3~4 分鐘的時間，每次實驗處理間受測者休息 2~3 分鐘。

每位受測者均須隨機執行 84 個實驗處理組合(2種燈光色彩 × 2種環境照明 × 3種背景亮度 × 7種背景色彩)。

3.5 資料蒐集與分析

識認績效：識認績效是將受試者所正確記錄的字母個數，除以全部呈現的字母個數，再乘以 100 %。

以 Statistical Products & Service Solutions (SPSS 13.0)軟體進行變異數分析(ANOVA)與效果大小(effect size)計算，並針對效應顯著的因子與交互作用進行進一步多重比較。

四、結果

視覺績效的變異數分析表列於表 1，自變數各水準的視覺績效結果列示於表 2。

表 1. 視覺績效的變異數分析表

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性	Effect size ^a	
						η^2	η_p^2
校正後的模式	47472.98	83	571.96	4.92	.000		
截距	1786794.04	1	1786794.04	15356.24	.000		
環境照明(AL)	2070.43	1	2070.43	17.79	.000	.006	.007
燈光色彩(LC)	36.68	1	36.68	.32	.575	.000	.000
背景亮度(BL)	10512.81	2	5256.40	45.18	.000	.032	.036
背景色彩(BC)	586.73	6	97.79	0840	.539	.002	.002
AL*LC	7.62	1	7.62	.065	.798	.000	.000
AL*BL	4600.12	2	2300.06	19.77	.000	.014	.016
LC*BL	43.21	2	21.60	.19	.831	.000	.000
AL*LC*BL	1029.69	2	514.84	4.43	.012	.003	.004
AL*BC	819.04	6	136.51	1.17	.318	.002	.003
LC*BC	2648.81	6	441.47	3.79	.001	.008	.009
AL*LC*BC	1841.89	6	306.98	2.64	.015	.006	.006
BL*LC	2381.25	12	198.44	1.71	.060	.007	.008
AL*BL*BC	6444.21	12	537.02	4.62	.000	.019	.022
LC*BL*BC	4402.08	12	366.84	3.15	.000	.013	.015
AL*LC*BL*BC	10048.42	12	837.37	7.20	.000	.030	.034
誤差	283443.83	2436	116.36				
總和	2117710.86	2520					
校正後的總數	330916.82	2519					

^a Effect size, Eta square (η^2) = $SS_{\text{effect}} / SS_{\text{total}}$; Partial Eta square (η_p^2) = $SS_{\text{effect}} / SS_{\text{effect}} + SS_{\text{error}}$ (Kirk, 1982; Tabachnick and Fidell, 1989)

由變異數分析可發現，影響視覺績效的重要因子為環境照明($F_{(1, 2436)} = 17.79$,

$p < 0.000$)與背景亮度($F_{(2, 2436)} = 45.18$, $p < 0.000$)。燈光色彩與背景色彩對視覺績

效的影響皆未達統計上的顯著水準。並且由效果大小(effect size, η^2)顯示,背景亮度(.032)對於視覺績效的影響最大,其次為環境照明(.006)、背景色彩(.002)、與燈光色彩(.000)。

表 2. 自變數各水準的視覺績效(%)表

自變數	平均數	標準差	Grouping
燈光色彩			
白	26.75	11.38	A
黃	26.51	11.55	A
環境照明			
500 lx	27.53	12.07	A
250 lx	25.72	10.75	B
背景亮度			
40 cd/m ²	29.45	12.05	A
20 cd/m ²	25.74	10.78	B
10 cd/m ²	24.69	10.97	C
背景色彩			
Red	27.27	11.08	A
Green	27.11	11.12	A
Blue	26.85	12.31	A
Purple	26.80	11.70	A
Yellow	26.42	11.38	A
Cyan	26.01	11.06	A
Gray	25.93	11.54	A

針對效應顯著的因子進行 Duncan 多重比較,發現環境照明於 500 lx 的視覺績效優於 250 lx;背景亮度於 40 cd/m² 優於 20 cd/m² 與 10 cd/m²。

燈光色彩方面,雖然白色燈光的視覺績效些微優於黃色燈光,但其差異未達統計上的顯著水準。背景色彩方面,雖然三原色(primary color)的視覺績效些微優於中間點,但其差異亦未達統計上的顯著水準。並且,灰色背景的視覺績效最差,其原因應為在相同亮度對比下,灰色背景與目標文字的色差距離 $\Delta E(L, u', v')$ 最小。較小的色差距離其視覺績效較差 (Lippert, 1986)。

在交互作用方面,環境照明與背景亮度的交互作用($F_{(2, 2436)} = 19.77, p < 0.001$)對視覺績效的影響達到統計上的顯著水準。

在低背景亮度時較高環境照明的視覺績效明顯優於低環境照明的視覺績效。其可能原因為,雖然較高的環境照明雖會減少螢幕亮度對比,但本次研究所採用的背景亮度均較低,對於亮度對比的減少均較小,所以,較高環境照明對視覺績效的效益高於對亮度對比的減少。

雖然燈光色彩與背景色彩對視覺績效的影響皆未達統計上的顯著水準,但其交互作用($F_{(6, 2436)} = 3.79, p < 0.001$)對視覺績效的影響卻達到統計上的顯著水準。在白色燈光時,背景色彩為 Cyan 的視覺績效明顯優於黃色燈光的視覺績效。其可能原因為 Cyan 與黃色在 CIE 色座標上有對比色的性質,所以黃色燈光會減少 Cyan 的色彩飽和度,以致影響辨識績效。

五、結論

結果顯示,環境照明與背景亮度二個因素對視覺績效的影響達到顯著水準。環境照明於 500 lx 的視覺績效優於 250 lx;背景亮度於 40 cd/m² 優於 20 cd/m² 與 10 cd/m²。燈光色彩與背景色彩對視覺績效的影響皆未達統計上的顯著水準。

環境照明與背景亮度的交互作用對視覺績效的影響達到顯著水準,在低背景亮度時較高環境照明的視覺績效明顯優於低環境照明的視覺績效。

雖然燈光色彩與背景色彩對視覺績效的影響皆未達統計上的顯著水準,但燈光色彩與背景色彩的交互作用對視覺績效的影響達到顯著水準,在白色燈光時,背景色彩為 Cyan 的視覺績效明顯優於黃色燈光的視覺績效。

參考文獻

1. Al-Harkan, I. M. and Ramadan, M. Z., 2005. Effects of pixel shape and color, and matrix pixel density of Arabic digital typeface on characters' legibility. International Journal of Industrial Ergonomics, 35, 652-664.

2. Chen, M. T. and Lin, C. C., 2004. Comparison of TFT-LCD and CRT on visual recognition and subjective preference, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34(3), 167-174.
3. Choi, S. and Miyasaka, K., 1993. Structure of poly-iodine complex formed in the amorphous phase of poly (vinyl alcohol) films. *Journal of Applied Polymer Science*, 48, 313-317.
4. Chung, H.-H. and Lu, S., 2003. Contrast-ratio analysis of sunlight-readable color LCDs for outdoor applications. *Journal of the Society for Information Display*, 11(1), 237-242.
5. Garcia, M. L. and Caldera, C. I., 1996. The effect of color and typeface on the readability of on-line text, *Computers and Industrial Engineering*, 31(1/2), 519-524.
6. Helander, M. G., and Rupp, B. A., 1984. An overview of standards and guidelines for visual display terminals. *Applied Ergonomics*, 15, 185-195.
7. Hori, H. and Kondo, J., 1993. Contrast ratio for transmissive-type TFT-addressed LCDs under ambient-light. *Journal of the Society for Information Display*, 1(3), 325-327.
8. Huang, K. C., 2007. Effects of colored light, color of comparison stimulus, and illumination on error in perceived depth with binocular and monocular viewing. *Perceptual and Motor Skills*, 104, 1205-1216.
9. Humar, I., Gradišar, M. and Tomaž, T., 2008. The impact of color combinations on the legibility of a Web page text presented on CRT displays. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38, 885-899.
10. Kirk, R. E., 1982. *Experimental design: Procedures for the behavioral sciences*, 2nd ed., Belmont, CA: Brooks/Cole.
11. Krantz, J. H., Silverstein, L. D. and Yeh, Y.-Y., 1992. Visibility of transmissive liquid crystal displays under dynamic lighting conditions. *Human Factors*, 34(5), 615-632.
12. Kubo, M., Uchi, T., Narutaki, Y., Shionomiya, T. and Ishii, Y., 2000. Development of "Advanced TFT-LCD" with good legibility under any ambient light intensity. *Journal of the Society for Information Display*, 8(4), 299-304.
13. Lin, C. C., 2003. Effects of contrast ratio and text color on visual performance with TFT-LCD, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31(2), 65-72.
14. Lin, C. C., 2005. The effect of screen luminance combination and text color on visual performance with TFT-LCD, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(3), 229-235.
15. Lippert, T. M., 1986. Color-difference prediction of legibility performance for CRT raster imagery. *SID Digest of Technical Papers*, 16, 86-89.
16. Michalski, R. and Grobelny, J., 2008. The role of colour preattentive processing in human-computer interaction task efficiency: A preliminary study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38, 321-332.
17. Pawlak, U., 1986. Ergonomic aspects of image polarity. *Behaviour and Information Technology*, 5(4), 335-348.
18. Shieh, K. K. and C. C. Lin, 2000. Effects of screen type, ambient illumination, and color combination on VDT visual performance and subjective preference, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26(5), 527-536.
19. Shieh, K. K., Chen, M. H. And Wang, Y. W., 2005. Effects of display medium and luminance contrast on memory performance and EEG response. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35, 797-805.
20. Tabachnick, B. G. and Fidell, L. S., 1989. *Using multivariate statistics*, 2nd ed., Harper & Row, New York.
21. Turville, K. L., Psihogios, J. P., Uimer, T. R. and G. A. Mirka, 1998. The effects of video display terminal height on the operator: a comparison of the 15° and 40° recommendations, *Applied Ergonomics*, 29(4), 239-246.
22. Yoshida, Y. and Yamamoto, Y., 2003. Color management of liquid crystal display placed under light environment.

Electronics and Communications in Japan, 86(7), Translated from Denshi Joho Tsushin Gakkai Ronbunshi, 2002, J85-A(7), 793-805.

23. Zhu, Z. and Wu, J., 1990. On the standardization of VDT's proper and optimal contrast range, Ergonomics, 33(7), 925-932.

附錄一、實驗採用色彩之 CIE(L, x, y)與 RGB code value

	Code		CIE(L, x, y)			RGB code value		
	Color		L	x	y	R	G	B
Stimulus	Gray	5	3202	3539		42	43	35
Background	Red	10	6180	3514		132	0	0
	Green		2846	5682		0	83	0
	Blue		2055	1788		46	53	115
	Yellow		4552	4579		75	53	0
	Purple		3282	1845		112	0	102
	Cyan		2218	3513		0	76	64
	Gray		3194	3531		58	64	50
	Red	20	6307	3517		178	0	0
	Green		2851	5813		0	116	0
	Blue		2093	1785		64	72	161
	Yellow		4654	4608		106	85	0
	Purple		3323	1840		154	0	144
	Cyan		2177	3472		0	106	93
	Gray		3200	3521		81	89	71
	Red	40	6387	3505		222	0	0
	Green		2870	5885		0	158	0
	Blue		2081	1795		92	92	254
	Yellow		4715	4603		145	118	0
	Purple		3295	1827		198	0	203
	Cyan		2216	3579		0	146	125
	Gray		3216	3550		111	124	100