

照度和对比度对于视觉显示终端视觉功能的影响

张华忠 荆其诚

中国科学院心理研究所

摘 要

本研究试图通过视觉显示终端的视觉功能研究,了解图象在荧光屏上的亮度对比度、荧光屏照度以及不同光源对于视觉功能的作用。图象在荧光屏上的亮度对比是影响阅读速度的重要因素,同时,荧光屏照度增加时,阅读速度降低。为了提高工作效率,可以提高图象在荧光屏上的亮度对比,也可以降低荧光屏照度。我们似乎可以推荐合适的荧光屏照度为50—200Lux。这时水平工作面照度是70—340Lux。

一、引 言

视觉功能的研究在许多国家已经持续了一百多年,主要探讨刺激物亮度、大小、对比度和持续时间之间的相互关系。Blackwell, H. R. (1946), Blackwell, H. R. & Taylor, J. H. (1970), 和 Blackwell, O. M. & Blackwell, H. R. (1971)系统地研究了透射材料亮度和对比度之间的关系。CIE第19号文件(1972)^[1]认为,与刺激物的其它条件相比,对比度更能反映视觉功能的情况,并且建议用对比感受性来表示视觉功能。胡瑞荣^[2]的研究表明,增加照度可以提高反射材料的视觉功能。荆其诚、焦书兰和喻柏林等人^[3,4]的结果表明,对同一视角的物体,为了达到一定的正确辨认率,增加照度可以减小对比度。

近年来,由于电子计算机的普遍应用,视觉显示终端(Visual Display Terminal, 简称VDT)的最佳工作条件作为一个新的问题开始受到重视。由于荧光屏具有与反射和透射材料不同的特点,所以不能将前人对于反射和透射材料的视觉功能的研究结论直接搬到荧光屏条件中。Gould, J. D.^[5]和Kurk, R. & Muter, P.^[6]的研究都表明,

1) 本文于1987年8月27日收到。

• 本论文是根据第一作者的硕士论文修改而成的。曹传咏、林仲贤、焦书兰和汪慧丽等同志在实验过程中给予了很大的帮助,在此一并致谢。

与反射材料相比,在荧光屏条件下,阅读速度较慢,并且错误率增加。

Baucer, D. & Cavonics, C. R.^[7]和Radl, G. W.^[8]比较了荧光屏正对比(黑背景上的发光字符)和负对比(亮背景上的黑字符)条件下的操作情况,他们都发现,负对比条件下成绩较好。Snyder, H. C. & Taylor, G. B.^[6]发现,荧光屏的字符亮度增加时,辨别正确率普遍上升,同时反应时缩短。Bouma, H.^[10]以再认错误率为指标,发现形状相近的字母容易混淆。同时指出亮度对比度对于阅读特别重要,如果是在颜色背景上呈现颜色字符,那么颜色对比特别重要。Radl, G. W.和Luder, C. B. & Barber, P. J.^[11]的研究都表明,颜色对于辨别荧光屏字符有很大作用。美国科学院^[12]组织的VDT专门研究小组于1981年召开了一次讨论会,指出目前各国使用的VDT工作场所的照度标准很不一致。因此有必要探讨照度和对比度对于VDT视觉功能的影响。

二、实验方法和结果

为了探讨VDT条件下的视觉功能,本研究设计了三个互相关联的实验。通过这一组实验研究,试图得到VDT条件下照度的推荐值。

实验一、荧光屏照度与亮度对比度对阅读速度的影响

(一)实验方法

本实验用Sony, Betamax型录像系统产生视觉刺激,即荧光屏黑背景上的白色汉字。每次呈现73个不成句子的常用汉字,分6行书写。每个汉字大小都是1×1厘米,成49分视角,字间距为0.25厘米,成12分视角,行间距是1厘米,成49分视角。汉字在荧光屏上的亮度对比度的计算公式是:

$$C = \frac{L_{\text{汉字}} - L_{\text{背景}}}{L_{\text{汉字}} + L_{\text{背景}}}$$

其中, $L_{\text{汉字}}$ 是在荧光屏上白色汉字的亮度值, $L_{\text{背景}}$ 是指荧光屏上黑背景的亮度值。

本研究使用四种不同的对比材料,分别称为A对比材料、B对比材料、C对比材料和D对比材料。在没有外界环境照明时,它们的对比度分别为0.93, 0.82, 0.67和0.40。荧光屏上的实际亮度对比度随照度而变化。根据《汉字频度表》查出汉字的使用频率,再根据汉字的笔划,选取四组笔划相等、使用频率处于同一个范围的汉字材料,每组有73个汉字。用四种不同灰度的广告色颜料在同一种黑纸上正楷书写,然后录成录像带,制成四种不同对比度的实验材料。

实验采用荧光灯照明,没有眩光,所有的荧光灯都装在房间的后半部分。用上海险峰电影机械厂生产的ZF-2型照度计测量荧光屏的垂直照度,有5种荧光屏照度,它们是5Lux, 15Lux, 50Lux, 200Lux和840Lux,同时还有一个暗室条件(0Lux)。被试在离荧光屏70厘米处观看,要求在正确的前提下尽量地快速阅读。使用12张练习汉字,练习15分钟。实验时,先在每种照度下适应10分钟,然后随机呈现四种对比材料,各做两次,这样,每种照度下做8次实验。以被试阅读全部73个汉字所需要的时间(秒)作为阅读速度的指标。

被试是文科大学生,男7名女9名,年龄在18—26岁之间,左右眼视力都是1.0以

上。

(二)实验结果

在暗室条件下，四种对比材料所需要的阅读时间如表1。

表1 亮度对比对阅读时间的影响

	亮 度 对 比			
	A	B	C	D
平均数(秒)	43.44	45.12	51.08	75.08
标准差	9.28	9.33	11.63	20.14

在有外界环境照度时，荧光屏的图象亮度和背景亮度发生变化，如图1。这时，D

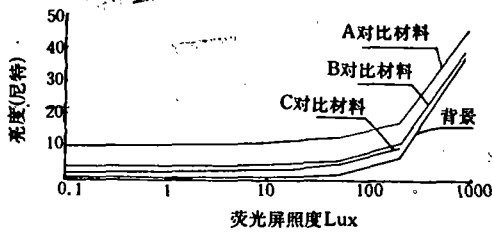


图1 不同照度下，实际测量得到的背景亮度和图象亮度

对比材料的背景亮度和图象亮度之间的差别很小，没有测到D对比材料的图象亮度。可以看出，A、B和C对比材料的图象亮度都随荧光屏照度增加而增大。不同对比材料的背景亮度相同，都随荧光屏照度而增大。图象的亮度对比度随荧光屏照度的增加而降低，如图2。

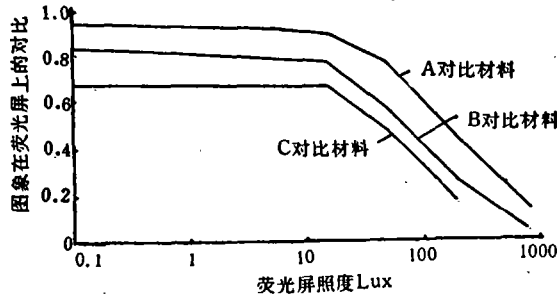


图2 不同照度下的亮度对比实际测量值

在各种荧光屏照度下，各种对比材料的阅读时间如表2所示。对于A对比材料，在低照度下(15Lux)阅读时间最短。经过F检验得到，照度对阅读时间影响非常显著(P<0.01)。840Lux的阅读时间显著长于其它照度(P<0.01)，15Lux比200Lux的阅读时间短(P<0.01)。其它照度之间无差异。

在B对比时，阅读时间随照度增加而增长。F检验表明，840Lux比任何其它照度条件的阅读时间都长(P<0.01)；200Lux比50Lux和5Lux显著地长(P<0.01)，比15Lux

表 2 不同照度下的阅读时间(秒)

			亮 度 对 比		
			A	B	C
照	5	平均数(秒)	44.04	45.25	50.94
		(标准差)	(8.37)	(8.78)	12.71
度	15	平均数(秒)	42.7	48.43	57.51
		(标准差)	(9.51)	(12.23)	(19.68)
LUX	50	平均数(秒)	43.68	47.83	62.80
		(标准差)	(9.20)	(10.77)	22.83
	200	平均数(秒)	44.92	52.18	75.74
		(标准差)	(10.45)	(13.35)	(29.83)
	840	平均数(秒)	52.01	79.53	
		(标准差)	(14.54)	(27.07)	

也长($P < 0.05$); 15Lux比5Lux长($P < 0.05$)。其它照度间无差异。

在C对比时, F检验表明, 照度对阅读时间有显著影响。200Lux比任何其它照度的阅读时间都长($P < 0.01$), 50Lux比低于50Lux的照度下阅读时间长($P < 0.01$), 15Lux比5Lux长($P < 0.01$), 5Lux时最短。

总之, 在各种对比下, 都是随照度增加, 阅读时间随之增长。照度对阅读时间影响非常显著。

取阅读时间的倒数作为阅读速度, 将阅读时间最短的条件下的阅读速度定为100%, 即是说, 将15Lux照度下A对比材料的阅读速度定为100%, 与此相比, 求出各种对比材料在各种照度下的相对阅读速度, 如图3所示。

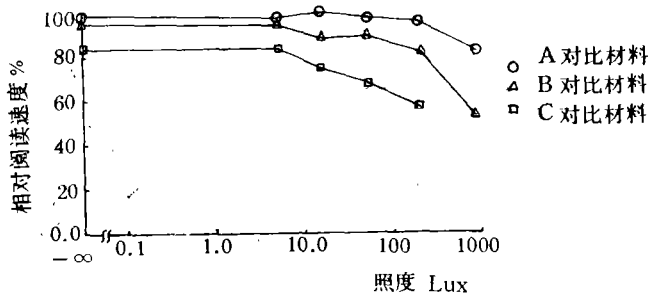


图 3 照度对相对阅读速度的影响

如果以在没有环境照明时的荧光屏对比度作为横轴, 在不同荧光屏照度下, 荧光屏对比度与相对阅读速度的关系见图4。

从图4中相对阅读速度90%、85%和80%处划一横线, 与各线相交, 相交点的值表示在不同的荧光屏照度下, 为了达到某个阅读速度所需要的对比度。图5表示这种照度和对比度之间的关系。图中横轴表示在没有外界照度下的荧光屏亮度对比度, 直线表

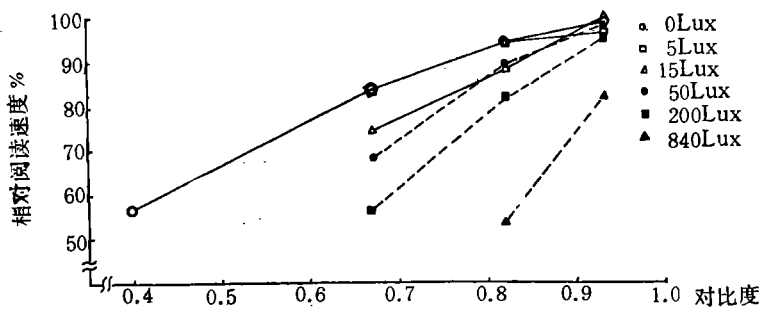


图 4 亮度对比度对于相对阅读速度的影响

示：在某种对比材料(对比度值是指在无环境照明下获得的)下，为了达到某个阅读速度(例90%)时，环境照度所允许达到的最高水平。荧光屏照度超过这个限度时，阅读速度就达不到所需要的标准。用y表示照度的对数值，三条拟合直线的方程如下：

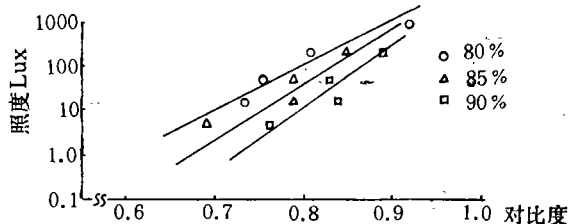


图 5 照度与对比度之间的关系

$$\begin{aligned} 80\%: & y = -6 + 10x \\ 85\%: & y = -8.4 + 12.5x \\ 90\%: & y = -10.4 + 14.3x \end{aligned}$$

x即为横轴上的对比度值。于是，我们就可以根据对比度来制定照度标准。

实验二、荧光灯和白炽灯 对荧光屏汉字阅读速度的影响

(一)实验方法

视觉刺激与实验一相同，仍是荧光屏黑背景下的白色汉字。使用A、B和C三种对比材料。采用荧光灯和白炽灯两种照明光源，荧光屏照度仍是5Lux、15Lux、50Lux、200Lux和840Lux。实验要求与实验一相同，仍是实验一的16名被试参加本实验。

(二)实验结果

在荧光灯和白炽灯照明下，各种照度、各种对比材料的相对阅读速度之比值见表3。

表 3 荧光灯与白炽灯下相对阅读速度之比

		亮 度 对 比		
		A	B	C
照 度	5	0.98	1.00	1.03
	15	1.01	0.97	0.93
LUX	50	0.96	0.99	0.99
	200	0.97	0.97	0.99
	840	0.97	0.89	

如果荧光灯和白炽灯两种照明光源之间没有任何差别,那么比值应该为1。除了5Lux照度的C对比材料和15Lux照度下的A对比材料外,其他条件下,二者比值皆小于1,说明白炽灯略显优越。但是各个比值都十分接近1,经过t检验,没有达到显著差别。

实验三、VDT的合适照度水平

第一部分:室内环境照度对于水平工作面的视觉作业的影响

(一)实验目的

在VDT系统中,操作者除了观看荧光屏外,还需要阅读水平工作面上的其它材料,要根据这两类活动的工作效率来制定VDT系统的照度水平。本实验就是探讨照度对水平工作面的工作效率的影响。

(二)实验方法

用荧光灯照明,荧光屏垂直照度还是5Lux、15Lux, 50Lux, 200Lux和 840Lux,这时实际测得的水平工作面照度是8Lux、24Lux, 70Lux, 340Lux 和1500 Lux。视觉作业是在水平工作面上放置的一段介绍巴黎的文章。被试的眼睛距离刺激35厘米,汉字成45分视角。要求被试阅读文章,划出文章中的“的”字,在保证不漏划的前提下越快越好,不要求理解文章的意义,以阅读文章的速度(行/分)和错误数作为视觉功能的指标。

被试男女各5名,左右眼视力都大于1.0。

(三)实验结果

10个被试在1分钟内的阅读行数和错误数如表4所示。可以看出,水平工作面照度

表4 不同照度对阅读水平工作面文章的影响

		水平工作面照度LUX				
		8	24	70	340	1500
阅读速度 (行/分)	平均数	21.5	22.2	25.3	24.7	25.8
	标准差	3	4.32	4.55	3.77	4.46
错误数	平均数	3.7	4.3	4.1	4.1	5.5
	标准差	3.3	3.9	3.4	4.3	7.1

越高,阅读速度越快。F检验表明,照度对阅读速度影响十分显著($P < 0.01$),进一步进行t检验,得出70Lux, 340Lux和1500Lux比8Lux和24Lux时阅读速度快,达到显著水平($P < 0.01$),其它照度之间没有显著差异。这就是说,70Lux是一个转折点,为了达到较高的阅读速度,水平工作面照度应该超过70Lux。同时,水平工作面照度增加时,错误数稍有增多,但是,经过F检验得出各种照度下错误数之间没有显著差异。

第二部分:在推荐的照度下视觉功能的稳定性

(一)实验目的

实验一结果告诉我们,为了达到较高的阅读速度,荧光屏照度应该降低。为了试图找到合适的照度水平,本实验使用B对比材料,在没有环境照明时其亮度对比是0.82。

为了达到80%的阅读速度,那么荧光屏照度不应高于200Lux。实验三第一部分的结果告诉我们,为了达到较高的阅读速度,水平工作面照度不应低于70Lux,这时,荧光屏垂直照度为50Lux。为了兼顾两种活动都能达到最大的工作效率,荧光屏照度应处于50—200Lux,这时水平工作面照度70~340Lux。本实验的目的就是探讨在上述照度范围内视觉功能的稳定性。

(二)实验方法

在两种照度下让被试从事两类活动,这两种照度值是荧光屏照度50Lux,这时水平照度为70Lux和荧光屏垂直照度200Lux,这时水平照度为340Lux。10名男女被试先在水平工作面照度70Lux阅读荧光屏上的汉字和水平工作面的一段文章,以阅读速度和错误数作为视觉功能的指标,具体要求与前面相同。然后,被试阅读其它文章达半小时后,再次测量被试的阅读速度和错误率。再过半小时后测量其视觉功能。

同组被试参加各项实验。为了抵消顺序效应,一半被试先做荧光屏照度50Lux的条件(水平工作面照度为70Lux),另一半被试先做荧光屏照度200Lux(水平工作面照度340Lux)的条件。

(三)实验结果

在一小时的实验过程中,不同照度下阅读荧光屏汉字所需的时间见表5。在荧光屏

表5 不同荧光屏照度下视觉作业随时间的变化情况

	50LUX			200LUX		
	起始	半小时后	一小时后	起始	半小时后	一小时后
平均数(秒)	47.0	49.74	49.78	49.8	49.88	48.53
标准差	14.4	14.0	15.8	11.6	11.5	11.7

照度50Lux时,阅读时间稍有增长。经过F检验,没有达到显著水平。在200Lux时,阅读速度变化不大,没有发现显著差异。说明,在荧光照度50~200Lux范围内,阅读荧光屏汉字的速度比较稳定。

一小时内,阅读水平工作面上文章的速度和错误数见表6。在水平工作面照度为70

表6 水平工作面上的工作效率稳定性情况

		水平工作面照度					
		70LUX			340LUX		
		起始	半小时后	一小时后	起始	半小时后	一小时后
阅读速度 (行/分)	平均数	25.58	22.89	24.0	24.9	22.7	22.67
	标准差	4.55	3.06	4.29	4.41	3.85	4.61
错误数	平均数	4.55	2.44	2.33	4.1	2.2	1.67
	标准差	3.24	2.19	1.58	4.39	1.64	2.55

Lux时,阅读速度稍有下降,经过F检验没有发现显著差异。在水平工作面照度340Lux时,阅读速度也略有下降,但是没有显著差别,错误率略有减少,经过统计检验,也没

有达到显著水平。这说明在水平工作面照度70~340Lux范围内工作效率较稳定。于是,似乎合适的照度水平是:荧光屏垂直面照度50~200Lux。这时我们实测的水平工作面照度在70~340Lux之间。

三、讨论和结论

(一) 图象在荧光屏上的亮度对比的作用

实验一的结果告诉我们,在没有环境照度时,亮度对比越大,阅读速度则越快。在有环境照明时,只要环境照度保持不变,那么亮度对比越大,阅读速度也越快。这与前人对于反射和透射材料的视觉功能研究结果一致。说明不论是普通的反射材料,还是发光的透射材料,或者是荧光屏显示,图象与背景之间的对比度始终是十分重要的。因此,CIE(1972)对于反射和透射材料下关于对比度的基本假定和标准似乎也可以适用于荧光屏条件。

(二) 室内环境照度对于VDT条件下视觉功能的作用

在实际VDT工作条件中,总是存在着外界照明的。从图4可以看出,不论是哪一种对比材料,增加环境照度则降低阅读速度。荆其诚等人(1979)研究照度对反射面视觉功能的影响时,得到的结果是视力随照度而提高。本研究得到的结果(图3)和荆其诚等人的结果是矛盾的,说明环境照度对于反射面和荧光屏的视觉功能有着不同的影响。在荧光屏条件下,增加照度使视觉功能降低,很重要的原因在于它降低了图象的亮度对比度。

当亮度对比度相同或相近时,例如在A对比材料,外界环境照度840Lux和C对比材料、环境照度200Lux时,实际亮度对比度十分接近(见图2)。实验结果(表2)表明,环境照度840Lux时的A对比材料阅读时间较短,即阅读速度较快,经过t检验,达到显著水平($p < 0.01$)。这里,亮度对比度相近,为什么视觉功能却不同呢?

如果分析照度对于图象亮度的影响,从图2看出,增加环境照度时,一开始,荧光屏的图象亮度变化不大,但是一旦超过100Lux,图象亮度增大很快,不论是哪一种对比材料,都有这个规律。同时,背景亮度也随照度而增大。CIE(1972)分析以前视觉功能的研究后得到在不同背景亮度下所需的阈限对比度,如图6所示。它表明,背景亮度越高,所需的阈限对比度越低。如果用 C_1 表示某个背景亮度下的对比度阈限, C' 表示实际对比度,那么可见度水平(Visibility Level,简为VL) $VL = C'/C_1$ 。如果 C' 不变,那么背景亮度增加引起 C_1 降低,于是VL增大。这就是说,如果两者实际对比度一样,那么背景亮度较高会有较高的视觉功能。

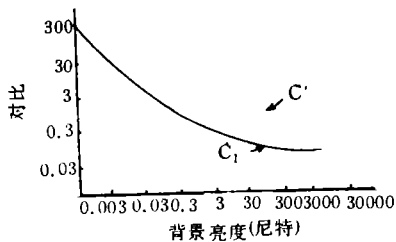


图6 不同背景亮度下的对比度阈限

再进一步分析,照度840Lux时的B对比材料和照度200Lux时的C对比材料,前者的图象实际对比度(C')低于后者(见图2),但是,

前者的背景亮度和图象亮度大于后者(见图1), 于是所需要的阈限对比度 c_1 较低。这样, 实际对比度与图象亮度的作用刚好相抵消, 没有产生视觉功能上的差异(见表2)。

我们可以认为, 环境照度对于视觉功能的作用就是图象亮度和图象实际对比度这两个因素的综合作用。这既适用于反射材料, 又适用于荧光屏条件。不论是反射材料, 还是荧光屏条件, 增加环境照度则提高图象亮度。但是, 增加环境照度对于图象实际对比度的影响却完全不同, 照度不会改变反射面的图象实际对比度, 却大大降低荧光屏的图象实际对比度。所以, 增加反射面的照度时, 背景亮度提高, 继而引起阈限对比度 c_1 降低, 但是实际对比度 C' 不变, 所以可见度 $VL = C'/C_1$ 增大, 视觉功能提高, 这就是荆其诚等人的结果。但是, 对于荧光屏条件, 情况较为复杂。增加照度时, 背景亮度提高, 继而引起 C_1 降低, 同时实际对比度 C' 也随之降低, 于是可见度水平 $VL = C'/C_1$ 的大小要视 C' 和 C_1 的相对变化值而定。所以, 如果不知道实际对比度和图象亮度值, 我们不能简单地判断照度的影响。由于增加照度大大降低实际对比度, 同时对对比度对于视觉作业特别重要, 所以, 一般讲来, 在荧光屏条件下, 低照度时视觉功能较好。

参 考 文 献

- [1] CIE No. 19 (TC-3.1) (1972). A Unified Framework of Methods for Evaluating Visual Performance Aspects of Lighting.
- [2] 胡瑞荣, 不同照度对学习效率和视觉功能的影响, 心理学报, 1966年第2期, 94—102.
- [3] 荆其诚、熊书兰、喻柏林、胡维生, 色度学, 科学出版社, 1979年
- [4] Ching, C. C., Yu, B. L., Jiao, S. L., Kuan, L. R. & Chao, K. M., (1980). Visual performance of young Chinese observers. *Lighting Research & Technology*, 12(2).
- [5] Gould, J. D. (1984). Doing the same work with hard copy and with cathoderay tube (CRT) computer terminals. *Human Factors*, 26(3), 323—338.
- [6] Kurk, R. S. & Muter, P. (1984). Reading of continuous text on video screens. *Human Factors*, 26(3), 339—346.
- [7] Baucor, D. & Cavoucis, C. R. (1980). Improving the legibility of visual display units through contrast reversal. In: Grandjean, E. & Vigliani, E. (Eds.): *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals, Proceedings of the International Workshop, Milan*, 137—142. Taylor & Francis Ltd., London.
- [8] Radl, G. W. (1980). Experimental investigations for optimal presentation mode and colors of symbols on the CRT screen. In: Grandjean, E. & Vigliani, E. (Eds.): *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals, Proceedings of the International Workshop, Milan*, 127—136, Taylor & Francis Ltd., London.
- [9] Snyder, H. L. & Taylor, G. B. (1979). The sensitivity of response measures of alphanumeric legibility to variations in dot matrix display parameters. *Human Factors*, 21(4), 457—471.
- [10] Bouma, H. (1980). Visual reading processes and the quality of text displays. In: Grandjean, E. & Vigliani, E. (Eds.): *Ergonomic Aspects of Visual Display Terminals, Proceedings of the International Workshop, Milan*, 101—114, Taylor & Francis Ltd. London.
- [11] Luder, C. B. & Barber, P. J. (1984). Redundant color coding on airborne CRT displays. *Human Factors*, 26(1), 19—32.
- [12] National Academy of Sciences. (1983). *Video Displays, Work and Vision.*, National Academic Press, Washington, D. C.

EFFECTS OF ILLUMINANCE AND VDT LUMINANCE CONTRAST ON VISUAL PERFORMANCE

Zhang Hua-zhong Jing Qi-cheng

Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing

Abstract

This research was intended to explore the effects of VDT luminance contrast, illuminance and two different light sources on visual performance. Results of a series of related experimental studies show that VDT luminance contrast is the major parameter affecting the speed of reading Chinese characters on the VDT screen. The results also suggest that the reading speed decreases as VDT illuminance increases. In order to improve visual performance under the condition of VDT, we could either increase VDT luminance contrast or decrease VDT illuminance, or both. In the light of these results, our recommended VDT illuminance ranges from 50 to 200 lux. At this VDT illuminance level, the illuminance of the horizontal working plane is 70—340 lux under our experimental condition.