

健康显示的影响因素综述

张平奇, 王丹, 吕振华, 刘莎, 张强, 孙晓, 邱云

引用本文:

张平奇, 王丹, 吕振华, 等. 健康显示的影响因素综述[J]. 液晶与显示, 2020, 35(9): 981–990.

ZHANG Ping-qi, WANG Dan, LYU Zhen-hua, et al. Review of determinants of healthy display[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(9): 981–990.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203509.0981>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

防蓝光显示技术进展

Progress of anti-blue light hazard in display technology

液晶与显示. 2020, 35(1): 1–11 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203501.0001>

大尺寸8K显示行业关键技术分析

Key technology analysis of large size 8K display

液晶与显示. 2018, 33(5): 389–396 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183305.0389>

反射显示技术的研究进展

Progress of reflective display technology

液晶与显示. 2019, 34(2): 169–176 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193402.0169>

不同防蓝光眼镜对屏幕显示效果的影响比较

Comparative study of different anti-blue light glasses on the effect of display

液晶与显示. 2019, 34(1): 54–62 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20193401.0054>

TFT-LCD TN曲面显示器色不均现象的研究

Prevention of uneven color for TFT-LCD TN curve panel

液晶与显示. 2020, 35(2): 128–135 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203502.0128>

文章编号:1007-2780(2020)09-0981-10

健康显示的影响因素综述

张平奇*, 王 丹, 吕振华, 刘 莎, 张 强, 孙 晓, 邱 云

(北京京东方显示技术有限公司, 北京 100176)

摘要:针对显示行业对健康显示的持续关注,本文较为系统地分析了不同显示要素可能对人眼产生的影响。从行业角度出发,阐释了对健康显示概念的理解。现有显示要素如蓝光、偏振光、频闪、眩光等对人眼可能产生潜在的影响。健康显示不同于单纯以提升产品性能为主要指标,而是更多地从系统角度出发,聚焦用户主体。通过用户与产品的使用交互,显示产品能够根据用户需求,实现智能化输出,使用户能够以良好的习惯使用,实现生理和心理上的舒适为目的。最后,从行业角度对面板技术开发和产业联动进行了初步思考。

关 键 词:健康显示;影响分析;改善方向

中图分类号:TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.37188/YJYXS20203509.0981

Review of determinants of healthy display

ZHANG Ping-qi*, WANG Dan, LYU Zhen-hua, LIU Sha, ZHANG Qiang, SUN Xiao, QIU Yun

(Beijing BOE Display Technology Group Co., Ltd., Beijing 100176, China)

Abstract: As the display industry continues to focus on healthy display, how different factors may affect the human eye were investigated systematically. The paper explains the concept of healthy display. The summary shows that different factors like blue-light, polarized light, flicker, dazzle may affect the human eye. Healthy display doesn't simply focus on product performance, but pay more attention to the user's experience from the system perspective. Through the interaction between the user and the product, the display product can realize the intelligent output according to the user's needs, and when the user uses it with good habits, it can achieve both physical and psychological comfort. Finally, the development and promotion strategies are discussed.

Key words: healthy display; impact analysis; direction of improvement

1 引 言

显示产品^[1]是现代文明的象征,是社会进步的体现。它们的广泛使用促进了社会发展,提高了生活质量,加快了信息传播。但在使用显示产

品的过程中,常常也有如下问题困扰着我们。手机不离手,成瘾严重;近视现象普遍,整日看手机或电脑,一段时间后感到眼睛酸痛。眼睛是心灵的窗户,这其中的重要性不言而喻。显示行业在关注技术进步的同时,越来越多地聚焦在用户的人眼健康上。

收稿日期:2020-01-19;修订日期:2020-03-10.

* 通信联系人, E-mail: zhangpingqi@boe.com.cn

基于此,本文较为系统地从不要素可能给人眼带来的影响出发,从行业角度分析并给出了可能减少不良影响的方法。通过研究,提出健康显示的概念并进行初步探索。

2 人眼视觉系统

人眼视觉系统^[2-3]是接收显示内容的重要入口,要了解显示要素对人眼的影响,首先需要了解人眼的构造、视觉产生的原理和视觉的特性。

2.1 人眼构造

图 1 为人眼结构示意图。人眼接近于球形,由眼球壁和内容物组成。眼球壁主要分为外、中、内三层;内容物主要指房水、晶状体、玻璃体。

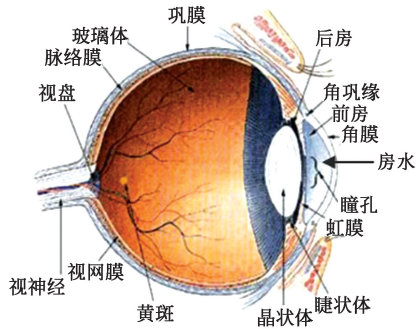


图 1 人眼结构

Fig.1 Schematic diagram of human eye structure

最外层的眼球壁包含巩膜、角膜,由于在外侧,主要对眼睛起到保护的作用。中层的眼球壁包含虹膜、睫状体、脉络膜,主要起到光线传输的作用。内层眼球壁则是由具有感光作用的视网膜组成,具有多层结构,如图 2 所示。其核心感光功能由视锥和视杆细胞实现。视杆细胞分布于视网膜中央凸以外的区域,灵敏度高,细节和颜色感知

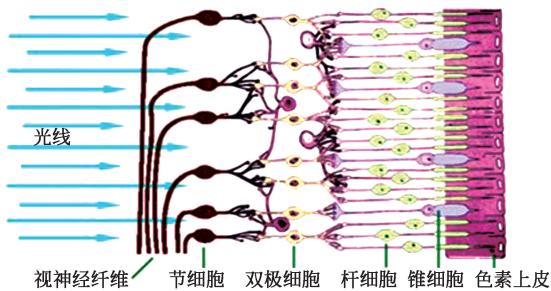


图 2 视网膜结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of retina structure

能力弱,主要用于感受弱光;视锥细胞大部分分布在中央凸以内的区域,可分辨细节和颜色,主要用于感受强光。

内容物中的房水、晶状体、玻璃体都呈透明状,具有屈光作用,此外玻璃体也用于支撑视网膜。以上,关于人眼各部分功能介绍参考图 3。

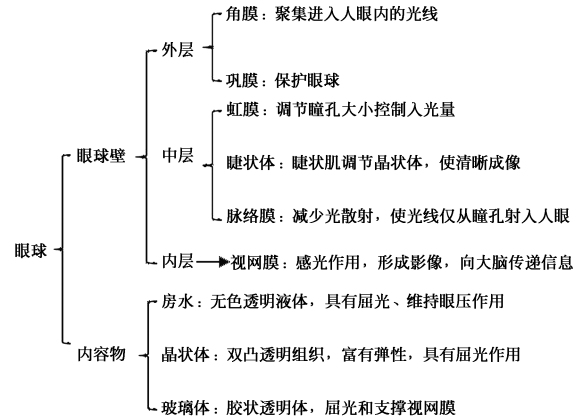


图 3 人眼各部分功能介绍

Fig.3 Function introduction of human eye

随着科学家们对视觉的深入研究,发现人眼感受光刺激的不单单是视锥和视杆两种感光细胞。Berson 等人^[4]在《Science》上发表这一研究成果,即存在视网膜特化感光神经节细胞(ipRGCs),作为非视觉功能的感光细胞在接受刺激后会产生非视觉的光生物效应。ipRGCs 负责参与包括激素分泌、生物钟等人体生理体征调节。这样的研究成果,建立了非视觉通道,证明了非视觉生物效应的存在。利用生理学知识实现对人体调节,在一定程度上使得健康显示成为研究与设计热点之一。

2.2 视觉产生原理

外界光线经过角膜聚焦、瞳孔适中调节后进入人眼内部。通过晶状体和玻璃体的折射作用后,会聚落在视网膜上。视网膜通过视神经,引起神经纤维的冲动,将冲动传入到大脑皮层的视觉中枢,形成了视觉。

3 不同要素影响分析

3.1 蓝光

可见光波段的蓝光波长在 400~500 nm。根据波长范围的差异,分为长波和短波。长波蓝光

具有调整生物钟的作用,我们的睡眠、记忆等都与之相关。

通常所说的有害蓝光,即指波长范围在 415~455 nm。眼球的多层次结构对蓝光有不同的过滤作用,蓝光危害的主要作用对象是视网膜^[5]。蓝光危害原理示意图如图 4 所示。当短波蓝光穿透晶状体直达视网膜时,光敏细胞由于吸收蓝光改变了原本不在接受光子的状态,增加细胞氧化损伤的可能性,使得褐脂质增加。褐脂质自身具有光毒性,吸收蓝光产生氧自由基,阻碍视网膜色素上皮细胞为光敏细胞供给养分。这样使得光敏细胞死亡,引起视力损伤,导致黄斑病变。黄斑位于人眼底视网膜的中央,是视力最敏锐的部位,一般医生在测视力时,就是在检查黄斑区的视觉能力。当出现黄斑病变时,往往伴随以下症状:中心视力减退、有暗点、黑影、视物变形、直线变弯曲等。此外,蓝光也可能导致白内障、屈光不正、干眼等。

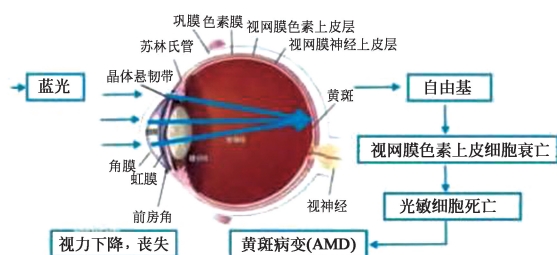


图 4 蓝光危害示意图

Fig.4 Schematic diagram of the blue-light hazard

哈佛大学医学院^[6]报道指出,适度的蓝光在白天对人体是有益处的,能增加我们的注意力、加快反应速度、提升情绪。但蓝光在晚上对于人体则是相对有害的,它除了可能抑制褪黑素的分泌,容易导致睡眠质量不高甚至失眠外,甚至还可能引起肥胖症等疾病^[7-8]。

为了表征蓝光伤害的能力,国际电工委员会(International Electrotechnical Commission, IEC)标准^[9]提出用蓝光伤害因子 K_B 描述对人眼伤害程度。将蓝光危害量与对应光度量的比值作为 K_B ,表征光源光谱中造成蓝光危害的辐射比例。其定义式为:

$$K_B = \frac{\int_{380}^{780} P(\lambda) B(\lambda) d\lambda}{K_m \int_{380}^{780} P(\lambda) V(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

式中: $P(\lambda)$ 表示光谱, $B(\lambda)$ 表示蓝光伤害函数,

$V(\lambda)$ 表示视见函数, K_m 为视觉效应最大光谱效能,取值为 683 lm/W。 K_B 越大,越容易造成视觉疲劳,对人眼伤害越大。

3.2 偏振光

偏振光指振动方向与传播方向不对称的光,主要分为圆偏振光与线偏振光两种。现有普遍使用的显示产品多为线偏振光。2009 年闫晓林等人^[10]让随机分组的测试者观看圆偏振光电视和普通液晶电视,进行分级视力和眨眼频率测试。通过分级视力变化和眨眼频率反映视疲劳程度。在相同观看时间下,如果分级视力下降程度越大,眨眼频率越快,那么疲劳感越强。图 5、6 反映儿童和成人测试后的分级视力结果,图 7 反映眨眼频率变化。分析得出,当观看两种偏振光电视一段时间后,不论是儿童还是成人都会产生暂时视力下降。圆偏振光与线偏振光相比,引起的视觉疲劳程度会小一些。

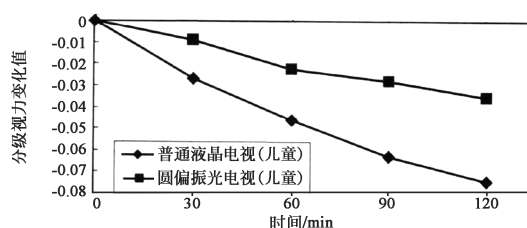


图 5 儿童组视力下降变化趋势

Fig.5 Trend of vision decline in children

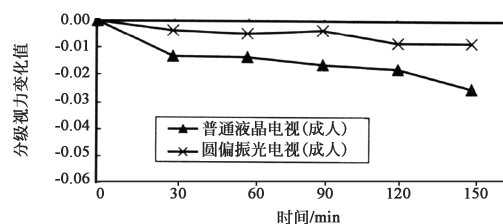


图 6 成人组视力下降变化趋势

Fig.6 Trend of vision decline in adult

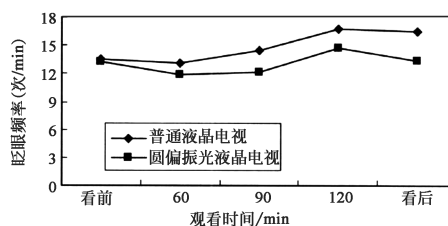


图 7 测试人员在观看时间内的眨眼频率变化

Fig.7 Testers' frequency of wink while watching TV

张莉等人^[11]通过眼动仪分析观看线、圆偏光液晶电视进行视觉疲劳研究,同样得出相同条件下圆偏振光与线偏振光相比,引起的视觉疲劳程度会小一些。

针对如上结论,目前学术界和业内尚没有统一答案。相关研究^[12-14]认为,这与视网膜吸收偏振光存在差异有关,也有认为是由于视锥细胞外层的光学双折射特性造成的。虽然在生理上解释有不同,但在物理属性上,都是围绕偏振光本质展开讨论。研究者推测是由于圆偏振光本身与线偏振光相比,其振动面不只限于某一固定方向,而是围绕光的前进方向转动,旋转电矢量端点描出均匀圆轨迹,这与自然光的振动面在各个方向上均匀分布是比较接近的,因而可能产生的视疲劳较轻^[15]。

3.3 频闪

频闪^[16]指光源发出的光随时间呈快速重复的变化,使得光源跳动和不稳定的现象。对于人来说,闪烁是可以观察到的。但当频率增加到某一程度时,闪烁则会变成连续的光,此时的这个频率称为临界闪烁频率。临界闪烁频率因人而异,大多数人的临界闪烁频率值不超过 70 Hz。在未达到临界闪烁频率时,人会明显感知到明暗变化;当频率超过临界值时,人会感知到频闪效应。频闪效应指的是观察到的物体运动不同于实际运动的现象。在工厂或车间,运动的机器看起来静止就是频闪效应的体现。

频闪使感光细胞感应变化频繁,引起图像衰减,对比灵敏度下降,人眼在这一过程中逐渐产生视觉疲劳。当闪烁频率低于 65 Hz 时,易引发光敏性癫痫。此外,闪烁光源也会引起偏头痛,低频闪烁比高频闪烁引起的偏头痛更严重^[17]。

美国危险性评估委员会在 LED 照明闪烁的潜在健康影响标准^[17]介绍了闪烁的 LED 光源照明可能带来的潜在健康危害,如图 8 所示。红色区域代表危害比较高,绿色区域代表危害比较低。5 种健康危害主要有:①光敏性癫痫或闪烁光诱导的癫痫发作;②偏头痛或严重的头痛伴随恶心、视觉障碍;③加重自闭症患者的重复行为;④频闪效应;⑤视疲劳及相关视觉作业性能下降。

标准根据闪烁频率和波动深度函数关系,给出了危害的可接受阈值,如图 9 所示,即在某个频

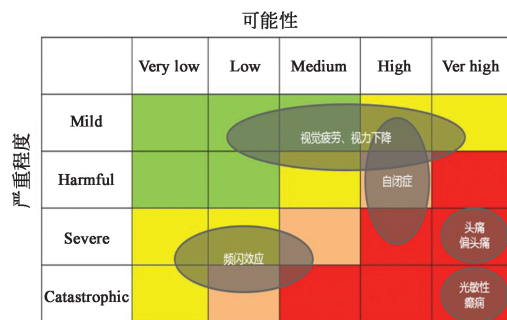


图 8 LED 照明潜在健康危害风险矩阵

Fig.8 LED lighting potential health hazard risk

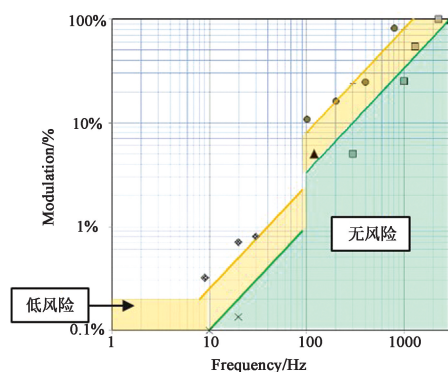


图 9 闪烁频率和波动深度关系

Fig.9 Relationship between flicker frequency and wave depth

率下,波动深度未达到阈值,则可认为无危害。

显示产品为了使屏幕匹配周围明亮或昏暗的环境,往往需要对显示屏亮度进行调节。屏幕的调光会引起频闪。目前常见的调光方式是直流调光(Direct Current, DC)和脉冲宽度调制技术(Pulse Width Modulation, PWM)。DC 是通过改变电路功率调节,一般调整正向电流实现调光。虽然亮度可调节范围小,但理论上无闪烁。此外,DC 调光成本相对较高,且低亮度下容易引起色偏。PWM 是通过周期性开闭改变正向电流的导通时间,本质上是亮-灭-亮-灭的过程。亮度调节范围大,但在低亮度下往往引起闪烁。PWM 调光分为高频 PWM 和低频 PWM,业内没有明确规定高低频闪界限,一般认为百 Hz 属于低频。根据 LED 照明闪烁的潜在健康影响标准,无风险区域频闪最好在 3 000 Hz 以上。如图 10 所示,从人眼健康角度考虑,DC 调光影响最小,其次是高频 PWM 调光,最后是低频 PWM 调光。

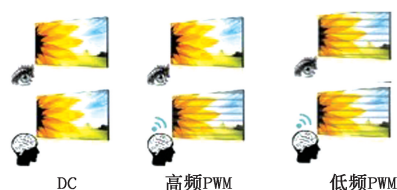


图10 调光方式比较

Fig.10 Comparison of dimming modes

3.4 亮度

亮度指在视线方向单位投影面上的发光强度。有研究^[18]表明,亮度不当会引起人眼疲劳,但未定量说明标准界限。当亮度过低时,视锥细胞的分辨功能受限,主要靠视杆细胞起作用。但由于自身分辨能力较弱,实际视力会下降。为了能获取清晰视力,睫状肌处于持续紧张的状态,造成视疲劳;当亮度过高时,为了使进入人眼的光线强度适中,瞳孔括约肌处于不断工作的状态,使瞳孔缩小,这样疲劳的状态会引起视疲劳。

《数字电视机液晶显示通用规范》^[19]提出了中大尺寸产品的推荐亮度,见表1所示,具有一定的参考性。

表1 不同屏幕尺寸推荐亮度

Tab.1 Recommended brightness for different screen sizes

屏幕尺寸/mm	亮度/($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)
442.6~685.8(19~27 in)	≥ 150
685.8~1 016(27~40 in)	≥ 250
$>1 016$ (40 in)	≥ 300

显示产品根据环境光照度,利用环境光传感器,调节背光亮度,实现亮度的控制。

3.5 眩光

眩光是一种影响视觉的机制。它是指视野中亮度分布不均匀、亮度范围变化不适宜、或者时间和空间上存在极端对比,造成人眼在观看时的不舒适之感或观察细部物体能力降低的现象。按照眩光产生的标准,可以分为直接眩光和反射眩光。直接眩光由窗户、灯具等高亮度光源的光线引起,反射眩光由光源通过光泽表面反射亮度进入人眼所引起。

眩光引起的图像衰减,使人眼生理保持双眼视力出现困难,往往会产生暂时性眼部不适和视力下降。眼内外肌肉维持一定的张力,并不停地

做调整,当长时间近距离用眼,眼球运动负荷增大,引起眼肌(尤其是睫状肌)疲劳^[20]。长时间或高强度的眩光引起感光细胞凋亡,从而导致视网膜损伤,严重可导致白内障等视觉疾病^[21]。

3.6 立体显示

3.6.1 人眼立体视觉形成

双目视差是立体视觉形成的基础。人眼在观看某一物体时,由于双眼之间存在距离,使得左右眼成像有所差异^[22]。这个差异使得物体经过大脑视觉中枢处理之后,产生深度感知,形成立体视觉,如图11所示。

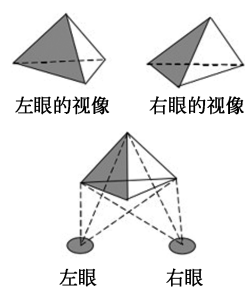


图11 立体成像示意图

Fig.11 Schematic diagram of stereo imaging

当大脑对人眼形成的图像进行融合时,会综合判断出前方场景中物体之间的深度关系以及与观看者的距离,即为深度感知。图12给出了形象的展示。 d 表示人眼到显示屏幕的距离, e 表示人左眼和右眼的距离,一般为65 mm。当人眼感知成像物点在屏幕上C,此时无深度感知;当人眼感知成像物点在屏幕前方或者后方时,这时观看的效果与正常观看时有所不同。当感知成像点在屏幕前方时,仿佛成像点从屏幕中跳跃出来,此时为交叉式视差。如图12中 B_L 、 B_R 分别是像点左右眼在显示屏幕上对应的左右眼像点, B 点为融合后的像点, T^- 为感知到的深度距离;当感知成像点在屏幕后方时,仿佛成像点内陷于屏幕中,此时为非交叉式视差。如图12中 A_L 、 A_R 对应于像点左右眼在显示屏幕上对应的左右眼像点, A 点为融合后的像点, T^+ 为感知到的深度距离。基于以上,感知成像物点与屏幕的距离称为深度信息,或称景深。

3.6.2 视觉调节

人眼通过辐辏与调节进行视觉调节^[23-25]。辐辏指当直视较近的物体或场景,双眼会稍向内转,使视觉焦点集中在被视物;而当凝视远方,双

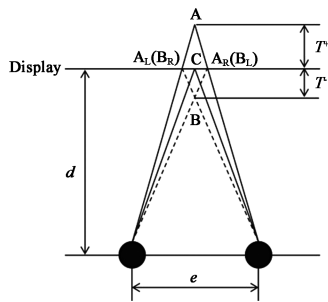


图 12 深度感知示意图

Fig.12 Schematic diagram of depth perception

眼视轴则平行。这种眼球的运动就是辐辏。调节指人眼调整晶状体和睫状肌,进而可以看清物体的现象。人是通过辐辏和调节协调联动,实现可以看清远近不同距离的物体。

如图 13 所示,正是由于日常生活中焦点辐辏和调节一致,人眼可以舒适地进行观看。

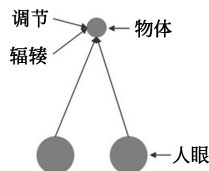


图 13 辐辏与调节一致

Fig.13 Convergence coincides with accommodation

而在观察基于双目视差的 3D 显示时,调节点在显示屏幕处,辐辏成像则在显示屏幕前或后,此时由于焦点调节和辐辏不一致^[26],如图 14 所示,长时间观看会引起视疲劳。

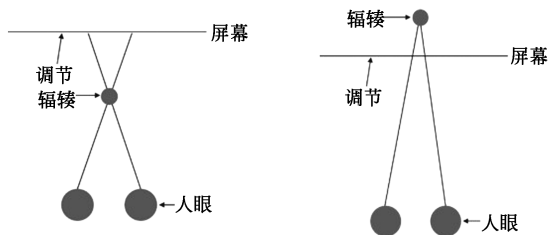


图 14 辐辏与调节不一致

Fig.14 Convergence diverges from accommodation

3.6.3 影响说明

相关研究指出,景深类型、景深分布、景深变化都会引发视疲劳。

3.6.3.1 景深类型^[27]

筛选 10 名受试者观看 5 部深度信息参数不同的电影,通过视频脑电图仪采集脑电信号。通

过主观问卷填写及客观参数评价进行探究。结果发现,当相同景深时,交叉式视差比非交叉式视差更易引起视疲劳。从人眼生理角度进行分析,观看非交叉式视差内容,眼球的转动较小,即辐辏变化较小,双眼不易疲劳;而观看交叉视差内容,由于成像在屏幕前,双眼成像时辐辏变化较大,双眼的辐辏与调节频繁而剧烈,导致不一致性程度更严重,更易引起视疲劳。

3.6.3.2 景深分布^[27-28]

与上述景深类型测试相同,研究者发现景深平均值越大,分布越不均匀,越容易视疲劳。

3.6.3.3 景深变化

不同研究者从多角度展开景深变化对人眼影响的实验研究。得出结论,景深变化越剧烈(深度差大、数量越大、速度越快),越容易引起视疲劳。

图 15 为帕努姆融合区(Panum 融合区)。帕努姆指出:人眼把左右眼看到的一定范围内的图像进行融合,即使注视点没有落在视网膜对应点上,但当注视的范围在圆周内外时,视网膜上的像仍可以落在双眼融合的范围。这个融合双像的注视范围叫作 Panum 融合区^[29]。当物体在融合区外,双眼不能正常融合,会出现复视现象。

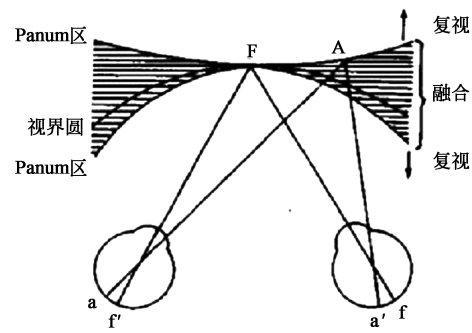


图 15 Panum 融合区

Fig.15 Panum fusion zone

①深度差大^[30]:当观看两个视差间距较大的物体时,双目视差形成的深度信息使人眼生理调节无法很好地实现,会产生强烈的不舒适感。

②数量大^[30]:图像信息量越多,人眼获得的信息量大小与视觉舒适度成反比。

在同一帧内,不同物体往往处于不同深度区间,物体本身呈现的形状、大小等差异,使得局部区域的深度是跳变的。物体本身的运动使得在时间维度中,同一像素位置深度值可能会发生变化,变化的规模在一定程度上反映了变化的复杂程

度。当图像中含有较多分布分散的物体时,人眼在观看时会产生负担,疲劳感增加;当图像中所含物体均匀且较少时,人眼可以舒适观看。

③ 速度快^[31]:物体运动速度的快慢也会对人眼融合图像产生影响。当物体运动速度较慢时,人眼有足够的时间融合出立体深度感;当物体运动速度较快时,人眼难以及时对物体运动轨迹进行追踪并产生立体深度融合,会导致不平衡视差产生,进而造成视疲劳。

4 健康显示

基于上述不同要素对人眼影响的探讨,我们认为健康显示是行业内一个新兴的研究课题。它不同于单纯以提升产品性能为主要指标,而是更多地从系统角度出发,聚焦用户主体。我们尝试从架构层面对健康显示进行了初步的描述,如图16所示。

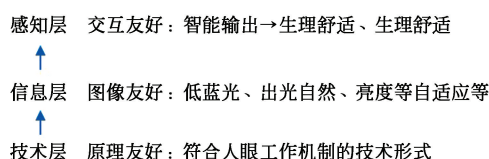


图16 健康显示架构探索

Fig.16 Exploration of healthy display

通过用户与产品的使用交互,显示产品能够根据用户需求,实现智能化输出,使用户能够以良好的习惯使用,实现生理和心理上舒适为目的。

5 健康显示的思考方向

健康显示是一个长期的系统研究课题,依托屏幕端口,可拓展系统解决方案。在初期探索上,从现有可能产生影响的要素出发,实现屏幕输出的舒适。

① 低蓝光:以减少短波蓝光组成,同时将光学损失降到最低为主要目的,从削弱光强或波长红移两种技术路线方向展开。

削弱光强可以采用软件调节方案或者薄膜阻隔方案。前者即通过软件方案限制蓝光含量。用户可以打开或关闭软件,减少设备产生的蓝光。后者即利用光学膜过滤蓝光。如图17所示,采用

某种高低折射率交替的复合多层薄膜达到防蓝光的效果,通过和偏光片(Polarizer, POL)及背光(Back Light Unit, BLU)的复合达到显示屏护眼的效果。

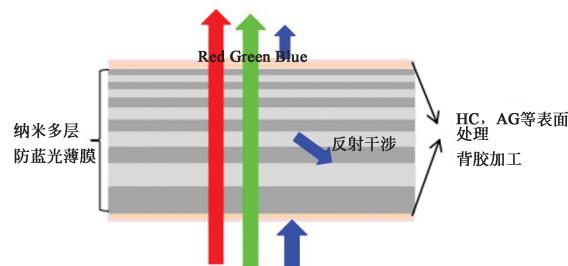


图17 薄膜阻隔

Fig.17 Membrane barrier

波长红移通过长波LED或电路code调试实现。如图18所示,长波LED方案通过调整背光的芯片,使得LED光谱蓝波波峰红移,从而降低短波蓝光的强度。普通LED峰值波长一般在450 nm左右,长波LED峰值波长移动到接近460 nm左右。

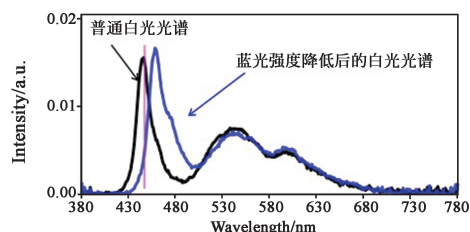


图18 长波LED

Fig.18 LED with long wave

电路code调试方案保持调控R和G的电压不变,针对性地降低蓝色波长对应的电压,以降低蓝色强度,如图19所示。

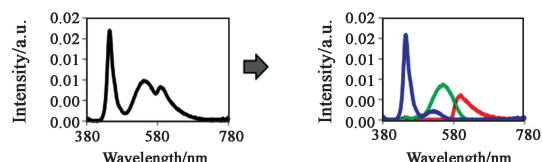


图19 电路code调试

Fig.19 Circuit code debugging

② 偏振状态:圆偏振光与线偏振光相比,更接近于自然光。在线偏振光POL外增加1/4玻片改善显示产品出射光的偏振状态,如图20所示。

③ 频闪:从人眼健康考虑,DC调光>高频

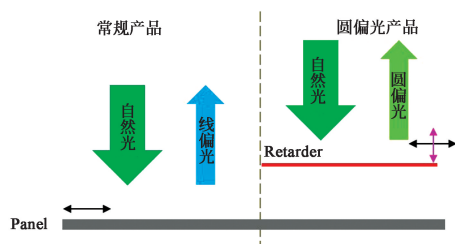


图 20 光的偏振状态改善

Fig.20 Improvement of polarization

PWM 调光 > 低频 PWM 调光。现有显示产品调光方式不一,以 OLED 手机为例,现有 OLED 手机低亮度调光主要采用 PWM 调光,尚不能实现完全 DC 调光。部分厂商采用类 DC 调节模式,通过算法抖动和图层混合处理,使画面内容亮度有效降低,实现类似 DC 调节的效果。

④ 眩光:如图 21 所示,根据实际应用场景需求,采用防眩处理。通过漫反射,增加反射方向,减弱观看方向的光亮度,减少不必要的眩光带来的影响。

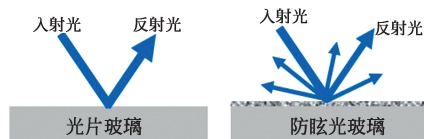


图 21 防眩改善

Fig.21 Improvement of glare

⑤ 立体显示:基于双目视差原理的立体显示,由于难以取消辐辏、调节冲突,可考虑将辐辏与调节的不一致限定在舒适区、减少突变镜头等可适当减缓视疲劳。

拓展的系统方案从生理健康和心理健康双角度出发。生理健康方面,借助环境光传感器、距离

传感器等,实现实时提醒,注重对用户的习惯培养;心理健康方面,借助人工智能技术,通过手势、体征、情绪等,呈现定制化显示内容。

6 结 论

本文以健康显示为主题,对现有已知可能对人眼产生影响的要素进行了较为系统地分析探究。

① 蓝光 (415~455 nm) 可能引起屈光不正、黄斑病变、干眼、白内障、睡眠质量下降、皮肤老化等危害。蓝光伤害因子 K_B 定量描述对人眼造成视觉疲劳及伤害程度。 K_B 越大对人眼伤害越大。

② 线偏振光与圆偏振光相比,同样条件下产生的视觉疲劳更严重。

③ 频闪可能导致视疲劳、频闪效应、光敏性癫痫偏头痛及加重自闭症患者的重复行为。显示产品调光会引起频闪。调光方式:DC > 高频 PWM > 低频 PWM。

④ 亮度不当可能导致视疲劳。

⑤ 眩光可能导致暂时性眼部不适和视力下降及心理不适。

⑥ 基于双目视差原理的立体显示可能会导致视疲劳等。

针对目前健康显示在业内仍处于前期探索阶段,本文提出健康显示的概念。面板制造商需要联合终端厂商、测评机构等,共同从显示健康的角度进行开发和宣传,以尽可能减少或消除显示因素对人眼造成的不良影响。通过智能化输出健康显示内容和培养用户健康使用习惯,以期给消费者带来健康的使用体验。

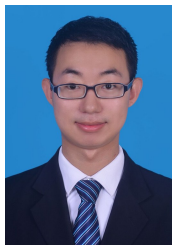
参 考 文 献:

- [1] 李继军,聂晓梦,甄威,等.显示技术比较及新进展[J].液晶与显示,2018,33(1):74-84.
LI J J, NIE X M, ZHEN C, et al. New developments and comparisons in display technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(1): 74-84. (in Chinese)
- [2] 杨培增,范先群.眼科学[M].北京:人民卫生出版社,2018:5-25.
YANG P Z, FAN X Q. *Ophthalmology* [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2018: 5-2. (in Chinese)
- [3] CAMPBELL F W, GUBISCH R W. Optical quality of the human eye [J]. *The Journal of Physiology*, 1966, 186 (3): 558-578.
- [4] BERSON D M, DUNN F A, TAKAO M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock [J]. *Science*, 2002, 295(5557): 1070-1073.

- [5] 申崇渝,徐征,赵设玲,等.LED蓝光泄露安全性研究[J].光谱学与光谱分析,2014,34(2):316-321.
SHEN C Y, XU Z, ZHAO S L, *et al.* Study on the safety of blue light leak of LED [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2014, 34(2): 316-321. (in Chinese)
- [6] Harvard Medical School. Blue light has a dark side [EB/OL]. [2012-05-01]. <http://www.health.harvard.edu/staying-healthy/blue-light-has-a-dark-side>.
- [7] GODLEY B F, SHAMSI F A, LIANG F Q, *et al.* Blue light induces mitochondrial DNA damage and free radical production in epithelial cells [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2005, 280(22): 21061-21066.
- [8] DUNBAR M, MELTON R. The lowdown on blue light: good vs bad, and its connection to AMD [EB/OL]. [2020-01-19]. <http://www.reviewofoptometry.com/continuingeducation>.
- [9] International ElectroTechnical Commission. IEC/TR 62778-2014 Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires [S]. Switzerland: IEC, 2014.
- [10] 闫晓林,付东,朱昌昌,等.圆偏振光液晶电视对视疲劳的影响[J].中国预防医学杂志,2009,10(8):798-801.
YAN X L, FU D, ZHU C C, *et al.* Effect of circularly polarized liquid crystal TV on visual fatigue [J]. *China Preventive Medicine*, 2009, 10(8): 798-801. (in Chinese)
- [11] 张莉,徐亮,张运红,等.应用眼动仪评价观看线偏光液晶电视与圆偏光液晶电视诱导的视疲劳研究[J].眼科,2016,25(1):63-67.
ZHANG L, XU L, ZHANG Y H, *et al.* Study on human visual fatigue induced by watching linear polarized liquid crystal display and circular polarized liquid crystal display with eye tracker [J]. *Ophthalmology in China*, 2016, 25(1): 63-67. (in Chinese)
- [12] SHURCLIFF W A. Haidinger's brushes and circularly polarized light [J]. *Journal of the Optical Society of America*, 1955, 45(5): 399.
- [13] HOCHHEIMER B F, KUES H A. Retinal polarization effects [J]. *Applied Optics*, 1982, 21(21): 3811-3818.
- [14] DODT E, KUBA M. Visually evoked potentials in response to rotating plane-polarized blue light [J]. *Ophthalmic Research*, 1990, 22(6): 391-394.
- [15] YAN X L, FU D, ZHU C C, *et al.* Invited paper: the circular polarized LCD-TV and its advantage over visual fatigue [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2009, 40(1): 536-539.
- [16] 时粉周,王珏,包德海.照明光源的频闪对视功能的影响[J].中华航海医学与高气压医学杂志,2001,8(2):72-74.
SHI F Z, WANG Y, BAO D H. The effects of illumination light source's frequency flicker on vision function [J]. *Chinese Journal of Nautical Medicine and Hyperbaric Medicine*, 2011, 8(2): 72-74. (in Chinese)
- [17] Standards Committee of the IEEE Power Electronics Society. 1789-2015 IEEE recommended practices for modulating current in high-brightness LEDs for mitigating health risks to viewers [S]. New York: IEEE, 2015.
- [18] 王莹.不同显示技术与照明环境对视疲劳影响研究[D].南京:东南大学,2018.
WANG Y. Study on the visual fatigue caused by display technology and ambient illumination [D]. Nanjing: South-east University, 2018. (in Chinese)
- [19] 中华人民共和国工业和信息化部.SJ/T 11343-2015 数字电视液晶显示器通用规范[S].北京:工业电子出版社,2015.
Ministry of Industry and Information Technology. SJ/T 11343-2015 General specification for digital television LCD displays [S]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2015.
- [20] 杜红艳,李兰根,杜鹏程,等.视屏终端综合征与干眼症关系的研究[J].国际眼科杂志,2009,9(10):1999-2000.
DU H Y, LI L G, DU P C, *et al.* Relationship between visual display terminals syndrome and dry eye syndrome [J]. *International Journal of Ophthalmology*, 2009, 9(10): 1999-2000. (in Chinese)
- [21] CONTÍN M A, BENEDETTO M M, QUINTEROS-QUINTANA M L, *et al.* Light pollution: the possible consequences of excessive illumination on retina [J]. *Eye*, 2015, 30(2): 255-263.
- [22] 魏娜,张为冬.3D电视视差舒适度客观评价[J].现代电视技术,2014(4):106-110.
WEI N, ZHANG W D. Objective evaluation of parallax comfort of 3D TV [J]. *Advanced Television Engineering*, 2014(4): 106-110. (in Chinese)
- [23] YANO S, IDE S, MITSUHASHI T, *et al.* A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV im-

- ages [J]. *Displays*, 2002, 23(4): 191-201.
- [24] HIRUMA N, FUKUDA T. Accommodation response to binocular stereoscopic TV images and their viewing conditions [J]. *SMPTE Journal*, 1993, 102(12): 1137-1140.
- [25] LIU Y Z, WANG F, WANG C S. The research on visual fatigue factor in stereoscopic image observation [C]// *Proceedings of the 2009 IEEE 10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design*. Wenzhou: IEEE, 2009: 1882-1887.
- [26] 毛苗, 秦开怀. 3-D 视频的视差优化调整方法[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2014, 54(10): 1356-1361.
MAO M, QIN K H. Disparity adjustment method for stereoscopic 3-D video [J]. *Journal of Tsinghua University: Science and Technology*, 2014, 54(10): 1356-1361. (in Chinese)
- [27] 金帅, 邢丽冬, 钱志余, 等. 3D 影片中深度信息与观看者疲劳度的关联研究[J]. 中国生物医学工程学报, 2014, 33(3): 306-312.
JIN S, XING L D, QIAN Z Y, *et al.* The association between depth information of 3D movie and viewer fatigue [J]. *Chinese Journal of Biomedical Engineering*, 2014, 33(3): 306-312. (in Chinese)
- [28] RECHICHI C, SCULLICA L. Asthenopia and monitor characteristics [J]. *Journal Français d'Ophtalmologie*, 1990, 13(8/9): 456-460.
- [29] PENTLANDA P. A new sense for depth of field [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1987, PAMI-9(4): 523-531.
- [30] 石国忠. 3D 观看中的视觉疲劳研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.
SHIG Z. The research of visual fatigue in 3-D viewing environment [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2015. (in Chinese)
- [31] 王凤姣. 三维视频视觉疲劳的研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.
WANG F J. The research of visual fatigue for stereoscopic videos [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2014. (in Chinese)

作者简介:



张平奇(1991—),男,黑龙江哈尔滨人,硕士,2016 年于大连理工大学获得硕士学位,主要从事半导体液晶显示方面的研究。E-mail: zhangpingqi@boe.com.cn