

Photobiological Safety Analyzing of Large-Size LED Color Screen for Human Eyes

Jinyuan Liu¹, Hang Lv^{2*}, Shuwen Dong², Kai Lin², Lifang Wan², Yasheng Li²

¹National Institute of Metrology, Beijing

²Beijing Institute of Technology, Beijing

Email: yulinling001@126.com, lyuhang07@126.com

Received: Jun. 27th, 2014; revised: Jul. 9th, 2014; accepted: Jul. 14th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Large-size LED lattice color screen is widely used due to the advantages of high brightness, wide color gamut, high contrast etc.; meanwhile the photobiological safety issue of LED screen is concerned. According to current CIE standard, this paper sets up an objective model for evaluating the photobiological safety of LED screen. Based on this model, by using the spectral radiance measurement, this paper calculates the blue light hazard and heat radiation hazard on human retina of LED color screen, also those of PDP television and LCD television as comparison. The results show that, in the same brightness and white point application, the hazard index on human retina of LED color screen does not have obviously differences from PDP television and LCD television.

Keywords

LED Color Screen, Photobiological Safety, Blue Light Hazard, Heat Radiation Hazard

大尺寸LED彩色显示屏的人眼光生物安全性分析

刘金元¹, 吕航^{2*}, 董淑雯², 吝凯², 万丽芳², 李亚生²

¹中国计量科学研究院, 北京

²北京理工大学, 北京

Email: yulinling001@126.com, lyuhang07@126.com

*通讯作者。

收稿日期：2014年6月27日；修回日期：2014年7月9日；录用日期：2014年7月14日

摘要

大尺寸LED点阵彩色显示屏因其特有的高亮度、广色域、高对比度等优势在众多场合中受到人们青睐；同时，该类显示屏对人眼的光生物安全性问题也受到人们重视。本文依据现行的国际标准，对LED显示屏的光生物安全性，从视网膜蓝光危害和热危害两个方面，进行了测量，并选取了两台等离子(PDP)电视和液晶(LCD)电视样机作为比对。结果表明，对三种测试样品，在同等亮度和白场条件下，LED彩色显示屏的对人眼视网膜的危害指数与等离子(PDP)电视和液晶(LCD)电视没有显著性差异。

关键词

LED彩色显示屏，光生物安全性，蓝光危害，热危害

1. 引言

LED 作为一种半导体发光器件，一经问世便以其节能、环保、寿命长、高亮度、低功耗等特点[1]，广泛应用于各种显示、照明和装饰等领域。高分辨率大尺寸 LED 点阵彩色显示屏因其特有的高亮度、广色域、高对比度等优势在众多场合中受到人们青睐。同时，该类显示屏对人眼的光生物安全性问题也受到人们重视：作为一种窄波段、高亮度的半导体发光器件，LED 显示屏是否会对人眼造成伤害？与传统的显示器件相比，大尺寸 LED 显示屏的视网膜光生物安全性如何？

文献[2]现行的国际标准 CIE S 009/E:2002(也即国家标准 GB/T 20145-2006)附录中对生物学效应做了如下描述(表 1[2])。

由于 LED 彩色显示屏一般都属于可见光的范围，为了比较大尺寸 LED 彩色显示屏与其他典型的显示器件对人眼光生物安全性影响的差别，本文主要针对表 1 中的光致视网膜炎(也即蓝光危害)和视网膜热损伤(也即热危害)两个方面，依据文献[2]所述国际标准，建立了用于大尺寸 LED 彩色显示屏的光生物安全性的客观评价模型，对 LED 彩色显示屏进行了测试，并选取了两台等离子(PDP)电视和液晶(LCD)电视样机进行了比对测试。

2. 基于光生物安全性的评价模型

文献[2]国际现行标准 CIE S 009/E:2002(也即国内标准 GB/T 20145-2006)，对灯和灯系统的光生物安全性及评测方法和模型进行了定义，其中关于可见光对视网膜的影响具体如 2.1 和 2.2 节所述。

2.1. 视网膜蓝光危害及评价模型

蓝光危害是由波长主要介于 400 nm 与 500 nm 的辐射照射后引起的光化学作用，导致视网膜损伤的潜能[2]。为了防止长期受到蓝光辐射的视网膜产生视网膜光化学损伤，光源的光谱辐亮度与蓝光危害函数 $B(\lambda)$ 加权积分后的能量，依据文献[2]，需要满足下面式(1) [2]、式(2) [2]限值：

$$L_B * t = \sum_{300}^{700} \sum_t (L_\lambda(\lambda, t) * B(\lambda) * \Delta t * \Delta \lambda) \leq 10^6 \quad (\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}) \quad (t \leq 10^4) \quad (1)$$

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_\lambda * B(\lambda) * \Delta \lambda \leq 100 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}) \quad (t > 10^4) \quad (2)$$

式中：

Table 1. The photobiological safety description in CIE S 009/E:2002
表 1. CIE S 009/E:2002 中关于生物学效应的描述

生物学效应	器官/位置	光谱范围	光谱作用峰
红外线引起的白内障	晶状体	700~1400 nm, 可能会达到 3000 nm	可能 900~1000 nm 之间
光致角膜炎	角膜	180~420nm, 主要是 200~320 nm	大约 270 nm/288 nm
光致视网膜炎	视网膜	400~700 nm	可能 310 nm
视网膜热损伤	视网膜/脉络膜	400~1400 nm	大约 500 nm
紫外线引起的白内障	晶状体	290~400 nm	大约 305 nm
紫外线引起的红斑	皮肤	180~420 nm	大约 254 nm/295 nm

$L_{\lambda}(\lambda, t)$ 为光谱辐亮度, 单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$;

$B(\lambda)$ 为蓝光危害加权函数;

$\Delta\lambda$ 为波长带宽, 单位为 nm ;

t 为辐射持续时间, 单位为 s 。

2.2. 视网膜热危害及评价模型

为了防止视网膜热损伤, 依据文献[2], 热危害加权辐亮度 L_R 不应该超过下面的式(3) [2]限值:

$$L_R = \sum_{380}^{1400} L_{\lambda} * R(\lambda) * \Delta\lambda \leq \frac{50000}{a \cdot t^{0.25}} \left(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \right) \quad (10 \mu\text{s} \leq t \leq 10 \text{s}) \quad (3)$$

式中:

L_{λ} 为光谱辐亮度, 单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$;

$R(\lambda)$ 为热危害加权函数;

$\Delta\lambda$ 为波长带宽, 单位为 nm ;

T 为观察持续时间, 单位为 s ;

a 为光源对边角, 单位为 rad 。

上面提到的蓝光危害加权函数 $B(\lambda)$ 和热危害加权函数 $R(\lambda)$ 可以表示为图 1。

2.3. 大尺寸 LED 显示屏的视网膜蓝光危害和热危害评价模型

上述 2.1 和 2.2 小节的蓝光危害和热危害评价模型是基于单个光源建立的。本小节将分析并建立基于大尺寸 LED 显示屏的蓝光危害和热危害评价模型。

由于 LED 显示屏相当于均匀面“光源”, 所以显示屏的尺寸不会影响光谱辐亮度。接下来将分析显示屏的尺寸是否会影响人眼感知的辐照度。

人眼属于成像光学系统, 根据文献[3]中成像系统像平面的辐照度相关推导[3], 可知辐照度 E_0 和辐亮度 L_0 满足式(4)[3]:

$$E_0 = \frac{1}{4} \pi L_0 \tau \left(\frac{D}{f'} \right)^2 \quad (4)$$

其中, τ 为成像物镜的透过率, $\frac{D}{f'}$ 为数值孔径。

从式(4)可以看出, 对于大尺寸光源, 人眼接收到的辐照度和辐亮度成正比, 和光源尺寸无关。

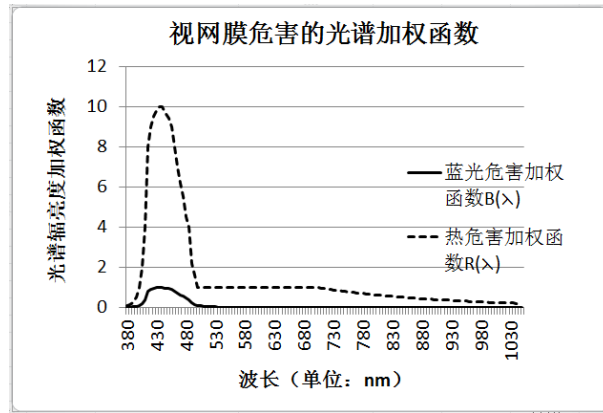


Figure 1. Weighted function of human retina hazard

图 1. 对视网膜危害的光谱加权函数

此外, 式(3)及文献 1 中定义了光源对边角 a 及计算方法。根据 LED 显示屏常用的 4:3 或 16:9 模式, 以及电视领域的最佳观看距离为 4~6 倍显示器对角线长度, 可以推算出此时的对边角 a 均略大于 $a_{\max} = 0.1 \text{ rad}$ 。而文献 1 中明确指出, 对于对边角大于 a_{\max} 的可视光源, 对视网膜危害的曝辐限值与光源尺寸无关, 本文将统一使用 $a = 0.1 \text{ rad}$ 。

所以, 结合式(1)~式(3), 可以建立如下 LED 显示屏的视网膜蓝光危害指数 e_B (式 5) 和热危害指数 e_R (式 6):

$$e_B = \sum_{380}^{700} L_{\lambda} * B(\lambda) * \Delta\lambda \leq 100 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}) \quad (t > 10^4 \text{ s}) \quad (5)$$

$$e_R = \sum_{380}^{1400} L_{\lambda} * R(\lambda) * \Delta\lambda \leq \frac{5 \times 10^5}{t^{0.25}} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}) \quad (6)$$

式(5)~(6)中,

L_{λ} 为光谱辐亮度, 单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$;

$B(\lambda)$ 为蓝光危害加权函数;

$R(\lambda)$ 为热危害加权函数;

$\Delta\lambda$ 为波长带宽, 单位为 nm ;

t 为持续观察时间, 单位为 s 。

本文将使用该模型对大尺寸 LED 彩色显示屏的视网膜危害进行分析。

3. 实验系统

3.1. 被测显示屏参数

实验选取大尺寸 LED 显示屏、等离子(PDP)电视、液晶(LCD)电视系统各一套。大尺寸 LED 显示屏选用点距为 1.67 mm 的表贴彩色显示屏, 由 4×4 个 LED 箱体拼接而成;

等离子(PDP)电视为一台 50 英寸的等离子电视; 液晶(LCD)电视由 2×2 个 46 英寸的 CCFL 背光液晶电视拼接而成。被测显示屏的参数对比详见表 2。

3.2. 实验系统搭建

本次实验旨在研究在同等条件下, 三台被测显示屏对人眼视网膜蓝光危害和热危害的差异。

实验在暗室中进行[4], 根据文献[4]中符合国际测量标准的分光式彩色亮度计测量显示屏的亮度和色

坐标, 并利用光谱辐射亮度测量装置对显示屏的光谱辐射亮度进行测量。彩色亮度计和光谱辐射亮度测量装置都进行了计量校准。亮度计的亮度的灵敏度为 0.003 cd/m^2 , 色坐标 (x, y) 的最大允差分别为 $x: \pm 0.003; y: \pm 0.002$, 光谱范围 $380 \text{ nm} \sim 1068 \text{ nm}$ 。在实验开始时, 分别将 LED 显示屏、等离子(PDP)电视、液晶(LCD)电视开机预热至稳定状态; 之后, 分别将三台被测显示屏调至相同白场、相同亮度 (160 cd/m^2) 输出(多次测量取平均值[5]-[7], 实测数据详见表 3), 依次测量每一组白场对应的光谱辐射亮度曲线。根据文献 3 本实验所用白场为 6500 K 和 9300 K 两种色温[8], 共得到两组曲线(图 2)。

亮度相对不确定度 2% ($k=2$), 色坐标不确定度 0.003 ($k=2$) [6] [7]。

光谱辐射亮度测量结果如图 2 所示。

4. 视网膜光生物安全性分析

在表 2 所示的测试条件下, 对显示屏的光谱辐射亮度分别进行测量, 根据式(5)和式(6), 对光谱辐射亮度进行加权后, 得到数据曲线如图 3 所示。

对光谱辐射亮度加权后进行积分计算, 可以得到被测显示屏在相应亮度和白场条件下的视网膜蓝光危害指数 e_B 和热危害指数 e_R , 计算结果如表 4 所示。

不确定度分析(表 5[6] [7])。

Table 2. Parameters of the three displays

表 2. 被测显示屏参数

被测显示屏	点间距(nm)	总尺寸(nm)	分辨率
LED 彩色显示屏	1.67	1600 × 1200	960 × 720
等离子(PDP)电视	0.83	1140 × 640	1366 × 768
液晶(LCD)电视	0.75	2040 × 1140	2732 × 1536

Table 3. Measurement data of three displays at 6500 K and 9300 K color temperature

表 3. 三台被测显示屏在 6500 K 和 9300 K 色温的测量数据

被测显示屏	色温 6500 K		色温 9300 K	
	亮度 (cd/m^2)	色坐标 (x, y)	亮度 (cd/m^2)	色坐标 (x, y)
LED 电视	162.8	(0.313, 0.325)	166.3	(0.283, 0.298)
等离子(PDP)电视	158.9	(0.311, 0.326)	164.6	(0.284, 0.301)
液晶(LCD)电视	160.6	(0.317, 0.330)	165.3	(0.284, 0.297)

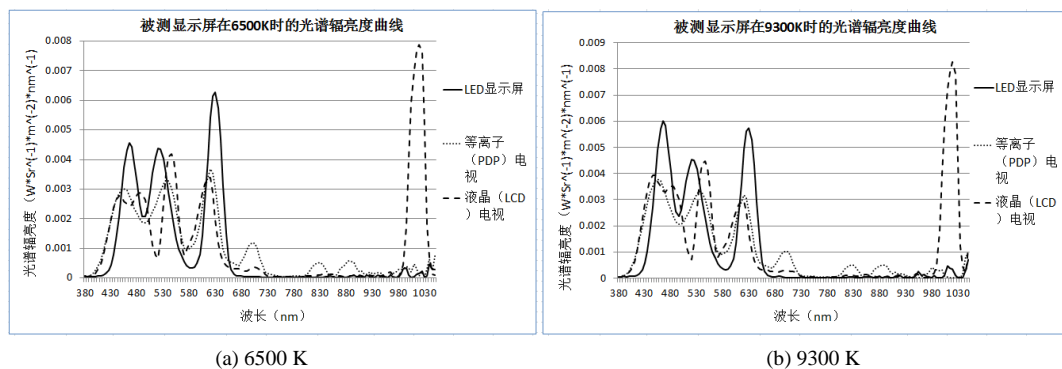


Figure 2. The spectral luminance curves of three displays at 6500 K/9300 K, and 160 cd/m^2 luminance

图 2. 被测显示屏在色温 6500 K 和 9300 K, 亮度为 160 cd/m^2 的光谱辐射亮度曲线

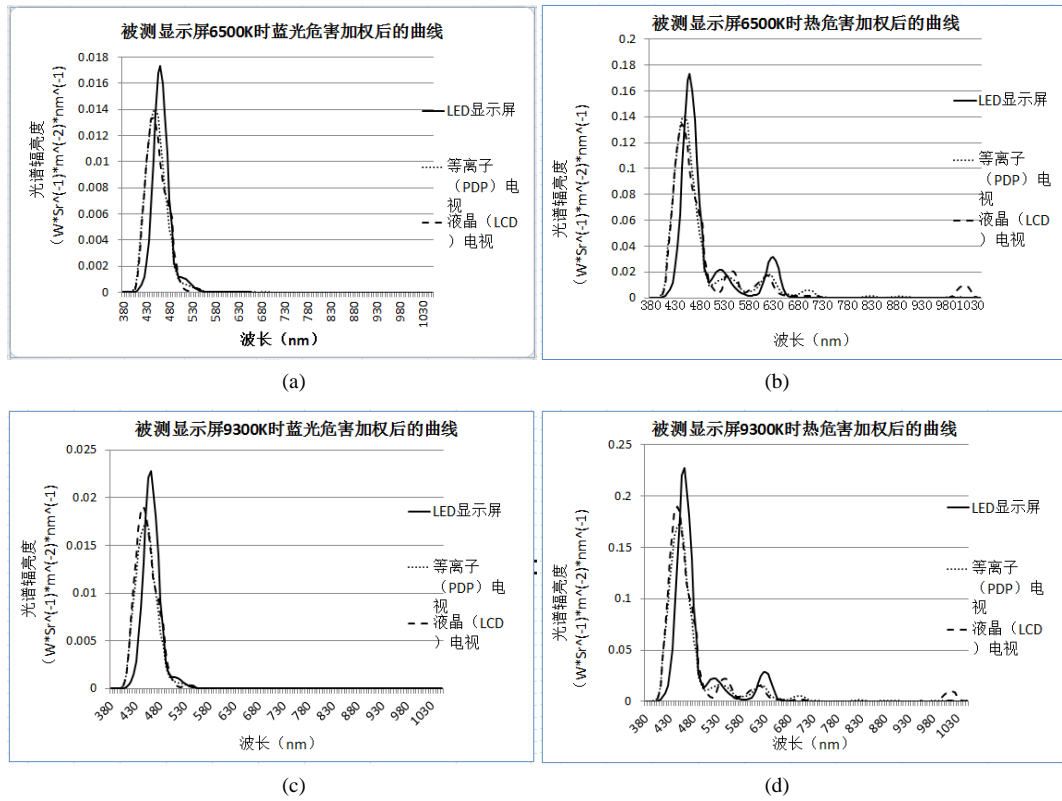


Figure 3. The spectral luminance curves of three displays weighted by the retina hazard function: (a) The blue hazard weighted curve at 6500 K; (b) the heat radiation hazard weighted curve at 6500 K; (c) The blue hazard weighted curve at 9300 K; (d) the heat radiation hazard weighted curve at 9300 K

图 3. 对视网膜危害的光谱加权函数：(a) 6500 K 蓝光危害加权；(b) 6500 K 热危害加权；(c) 9300 K 蓝光危害加权；(d) 9300 K 热危害加权

Table 4. The retina hazard index of three displays at the same brightness and white point

表 4. 被测显示屏在相同的白场和输出亮度下的视网膜危害指数

被测显示屏	6500 K 单位: $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$		9300 K 单位: $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$	
	蓝光危害指数 e_B	热危害指数 e_R	蓝光危害指数 e_B	热危害指数 e_R
LED 显示屏	0.137	1.72	0.177	2.11
等离子(PDP)电视	0.149	1.85	0.191	2.27
液晶(LCD)电视	0.145	1.81	0.198	2.33

Table 5. Measurement uncertainty analyzing [6] [7]

表 5. 不确定度分析[6] [7]

不确定度来源	不确定度(%)
u_a : A 类标准不确定度(贝塞尔公式)	1.0
u_{b1} : 光谱响应度	1.0
u_{b2} : 带宽影响	4.0
u_{b3} : 仪器稳定性	1.0
u_{b4} : 电源稳定性	0.5
合成标准不确定度	4.4

5. 结论

依据现行的国际标准 CIE S 009/E:2002 (也即国家标准 GB/T 20145-2006), 对大尺寸 LED 彩色显示屏进行了人眼光生物安全的测量分析, 同时选择了两台等离子(PDP)电视和液晶(LCD)电视样品进行了测试, 并将这三种彩色显示屏的测试结果进行了比较。结果表明, 三种不同的显示屏样品, 在同样的亮度和白场条件下, 在蓝光波段, 虽然 LED 显示屏的峰值辐亮度比其他两种样品要高, 但其窄波段的特点使其加权积分后所得的视网膜危害指数并不高于等离子(PDP)电视和液晶(LCD)电视, 三种不同显示屏视网膜光生物安全测量数据没有显著差异, 三台样品中, LED 显示屏的测量结果甚至优于其它两种显示屏。

参考文献 (References)

- [1] 陈元灯, 编著 (2007) LED 制造技术与应用. 电子工业出版社, 北京.
- [2] CIE S 009/E:2002 Photobiological safety of Lamps and Lamps Systems (GB/T 20145-2006 灯和灯系统的光生物安全性).
- [3] 金伟其, 胡威捷, 编著 (2006) 辐射度、光度与色度及其测量. 北京理工大学出版社, 北京.
- [4] SJ/T 11348-2006 数字电视平板显示器测量方法.
- [5] 胡威捷, 汤顺青, 朱正芳, 编著 (2007) 现代颜色技术原理及应用. 北京理工大学出版社, 北京.
- [6] 费业泰, 主编 (2004) 误差理论与数据处理. 第五版, 机械工业出版社, 北京.
- [7] JJF1059.1-2012 测量不确定度评定与表示.
- [8] SJ/T 11343-2006 数字电视液晶显示器通用规范.