

EyeSo 眼动追踪系统

红外 LED 安全性评估报告

心拓英启科技（北京）有限责任公司

Braincraft Technology Co., LTD

技术支持邮箱: Support@braincraft.net

技术支持电话: 010-8241-9895

目录

1 红外线 LED 对人眼伤害	2
2 LED 光源选择	3
3 LED 伤害评估	3
4 附件.....	6

1 红外线 LED 对人眼伤害

红外光的生物效应主要是热效应，它取决于以下因素：反射、散射、吸收。红外线光谱的范围在 0.8~1000 μm 之间，通常整个光谱范围被分为三个区段：

- 1.近红外线(nearinfrared,IRA)：波长在 0.8~1.4 μm 之间；
- 2.中红外线(middleinfrared,IRB)：波长在 1.4~3 μm 之间；
- 3.远红外线(farinfrared,IRC)：波长在 3~1000 μm 之间。

波长为 3000nm 以上的红外线，角膜可以完全吸收，3000nm 以下的红外线，则透过率不断改变。例如，在 2300nm 时，透过率为 25%，1650nm 时为 65%，1200nm 时为 80%，1000nm 时为 100%。这些透过角膜的红外线，如果波长为 2700nm，可以全部被房水吸收；如果波长为 2300nm，大部分将被晶体吸收；波长为 1600nm 时，全部将由玻璃体吸收。晶体是一个很活跃的吸收组织，其透光率随年龄及晶体核硬化的程度而异，其吸收率则与晶体内的类蛋白含量有关。总之，对于眼球来说，500nm 以上的红外线完全可以被屈光间质吸收，低于此波长时，屈光间质的吸收即减少，大部分将被虹膜及视网膜的色素吸收转变为热能。

红外线对眼睛的伤害主要是高温导致角膜蛋白凝结，晶状体局部混浊引起“白内障”，通常见于玻璃工人和高炉工人患白内障。红外线对眼球的伤害如下：

- 1.影响角膜(cornea)和较深层的组织如水晶体(lens)和玻璃状液(vitreous humor)，红外线对眼睛的穿透和波长有关系，在 0.8~1.2 μm 波长的红外线大约有 50%穿透到眼睛的深层组织。
- 2.暴露到高强度的红外线会使眼睛产生疼痛和上皮细胞烧伤，不过这些效应会受眨眼反应所影响。
- 3.低强度长时间的暴露可能加热虹膜和水晶体。
- 4.红外线所导致的白内障已在吹玻璃工人和熔炉工人发现，主要起因于对水晶体和其附近的组织加热。
- 5.视网膜对近红外线(760~1400nm)至为敏感，其伤害可能和因加热组织造成蛋白质和其他大分子变性有关。

总之，过量红外线对人眼造成伤害。起作用因素主要包括辐射时间、波长、功率及不同组织对红外线不同的吸收率，其中主要因素是辐射功率。

2 EyeSo 眼动追踪系统 LED 光源选择

系统选用的照明光源为波长为 850nm 的红外线 LED 光源，其光谱曲线如图 1 所示。其规格如附件：OSRAM-SFH-4236 参数（见本文附件一）所示。

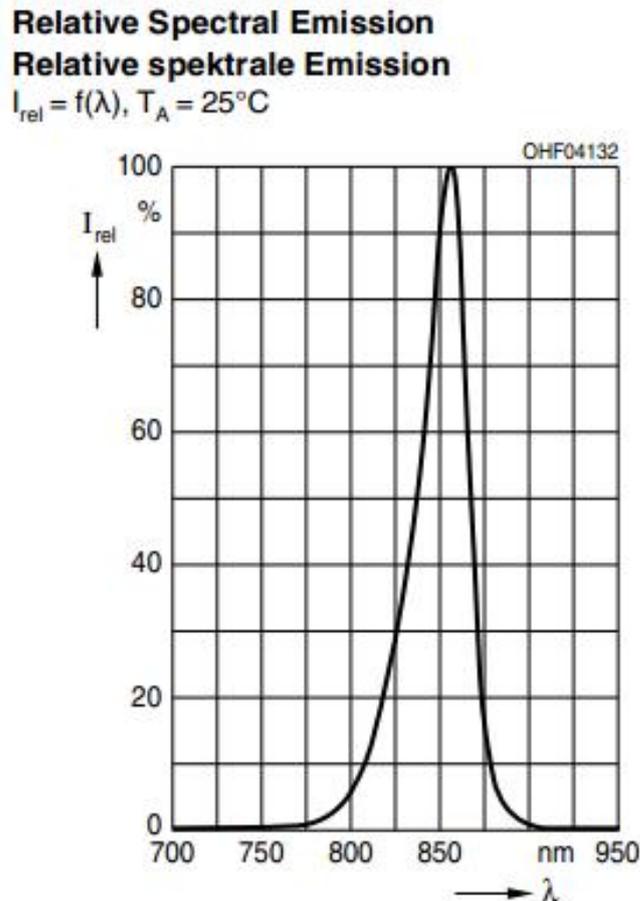


图 1 OSRAM-SFH-4236 850nm 红外 LED 光谱曲线

3 EyeSo 眼动追踪系统 LED 伤害评估

若以同调性的雷射光标准来规范非同调光的 LED 光源，显然太过严苛，一般规格，红外线 LED 的频谱宽度为 50nm，单模态雷射光为 5nm，所以雷射光的功率密度远大于非同调光 LED 的功率密度。由于红外线 LED 为非可见光，人眼无法察觉，所以在计算时并不能以光度学的计算方式来计算，我们要以辐射度学的角度来计算之。在表 1 中，我们介绍四种非游离辐射的专有名词与基本的单位。

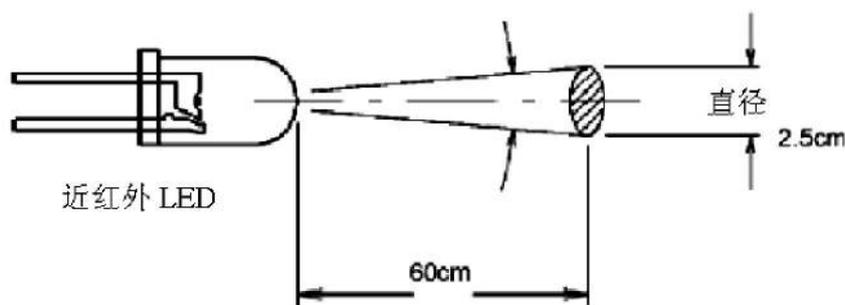
专有名词	描述	单位
辐射强度 I (Radiant intensity)	辐射强度为在某一方向上，光源于每单位立体角范围内的辐射功率。	W/sr
辐射亮度 L (Radiance)	辐射亮度为在某一方向上，光源的每单位面积于每单位立体角范围内的辐射功率。	W/(cm ² ·sr)
辐射照度 E (Irradiance)	辐射照度为在某一方向上，光源于每单位垂直面积范围内的辐射功率。	W/cm ²
立体角 ω (Solid angle)	一立径等于自圆球面上切取之面积与球半径平方相等之球面所张球心角之立体角量。	sr

表 1 四种非游离子辐射的专有名词与基本的单位

根据上述红外线光源对眼球的伤害，如在近红外线波段（0.8~1.4μm），将造成视网膜灼伤与白内障，因此我们有必要评估所选用的照明光源是否在安全规范内，然而根据 ICNIRP（国际非游离子辐射保护委员会）所发表的一篇声明中（见本文附件二），明确指出为了避免角膜的热伤害和可能的延迟效应，在热环境的红外线暴露时间大于 1000 秒的情形，应限制辐射照度（Irradiance）最高为 10mW/cm²；对于暴露时间小于 1000 秒的情况，辐射照度限制依下列公式计算：

$$\sum_{770\text{nm}}^{3000\text{nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 1.8 \cdot t^{-\frac{3}{4}} (\text{w/cm}^2)$$

其中 E_{λ} 为辐射照度， $\Delta\lambda$ 为波长范围， t 为曝露时间。



由于红外线 LED 距离我们的眼球大约 60cm (d) (EyeSo 遥测式眼动系列 T80 系列、T60S；EyeSo 固定支架式 T60C 距离为 30cm (d))，而眼球直径大约为 2.5cm (D)。根据辐射照度与辐射强度之关系，我们可得知

60/2.5=24>10(T80 系列、T60S) (30/2.5=12>10 (T60C)) , 所以可求出总辐射照度。

if $d/D > 10$, 则

$$E_{\lambda} = I_{\lambda} / d^2 (\text{mw/cm}^2)$$

我们所使用的红外线 LED 之辐射强度若以 Max Radiant Intensity 值, 即 1250mW/sr (见附件二 page4) 来计算, 而使用时间以大于 1000 秒的情况来定, 根据公式可得:

$$E_{\lambda} = 1250 / 3600 = 0.347 (\text{mw/cm}^2)$$

注: EyeSo 遥测式眼动系列 T80 系列、T60S

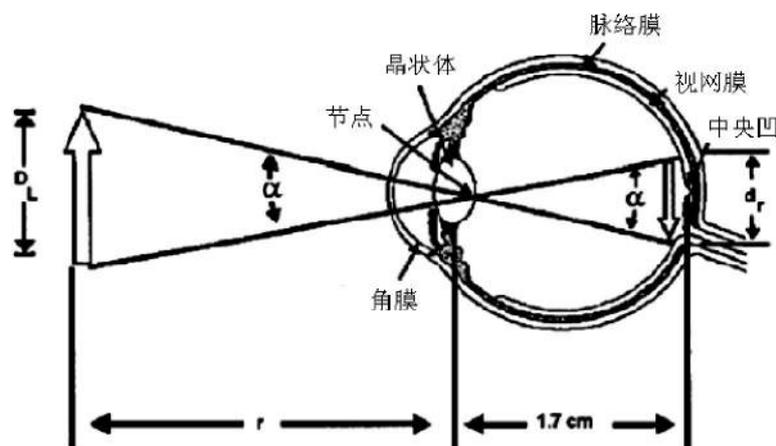
$$E_{\lambda} = 1250 / 900 = 1.389 (\text{mw/cm}^2)$$

注: EyeSo 固定支架式 T60C

根据上述, 限制辐照度最高为 10mW/cm², 所以我们所使用的红外线 LED 之辐照度在 EyeSo 遥测式眼动系列 T80 系列、T60S 为 0.347mW/cm², 小于其限制值 29 倍。低于某些严苛的医学建议值(1mW/cm²)两倍, 使用上述规格的红外 LED, 对人眼是绝对安全的。

我们所使用的红外线 LED 之辐照度在 EyeSo 固定支架式 T60C 为 1.389mW/cm², 小于其限制值 7 倍。略高于于某些严苛的医学建议值 (1mW/cm²), 短时间 (10min 内) 连续使用上述规格的红外 LED, 对人眼也是安全的。

另根据 Maxwellianview (麦克斯韦观察法), 光源之光束于眼球晶体聚焦后照射到视网膜之情形。红外线于 IRA(700nm< λ <1400nm)的光度肉眼所能正视的数值, 在暴露时间大于 10 秒时, 其值如下:



$$\sum_{770\text{nm}}^{1400\text{nm}} L_{\lambda} \cdot \Delta \lambda \leq \frac{0.6}{\alpha} (\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$$

$$\alpha = \frac{d_r}{17} = \frac{1.7}{17} = 0.1(\text{rad})$$

其中 d_r 为视网膜像之大小，其局限于 1.7mm，眼球从晶状体到视网膜的距离为 17mm。所以辐射亮度之限制必须小于 $0.6/0.1=6\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr}$ 。而辐射亮度之求法如下：

$$L_{\lambda} = \frac{I_{\lambda} \omega}{A \cos \theta} (\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$$

其中 A 为红外线 LED 之发光面积 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ ， ω 为红外线 LED 之立体角， θ 为发光角度 ($\pm 20^\circ$)， $\cos 20^\circ = 0.940$ ，我们所使用的红外线 LED 之辐射强度若以 Max Radiant Intensity 值，即 $I_{\lambda} = 1250\text{mW}/\text{sr}$ (见附件二 page4) 来计算，可得：

$$\omega = 2\pi(1 - \cos(\theta/2)) = 0.379(\text{sr})$$

$$L_{\lambda} = \frac{1250 \times 0.379}{1 \times 1 \times 0.766} = 0.618(\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$$

经过计算后我们求得使用的红外线 LED 之辐射亮度为 $0.679\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr}$ ，小于规范的 $6\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr}$ ，对人眼也是安全的。

4 附件

附件一：High Power Infrared Emitter (850 nm) SFH 4236 产品说明

附件二：ADJUSTMENT OF GUIDELINES FOR EXPOSURE OF THE EYE TO OPTICAL RADIATION FROM OCULAR INSTRUMENTS