

LED 汽车前照灯:眩光与显色性

[英]Sivak M 著 林燕丹¹译

(1. 复旦大学电光源研究所 上海 200433)

摘要

由于发光二极管(LEDs)的光输出有了迅速的提高,人们开始认真地关注将LED应用于汽车前照灯这一课题。本研究分析检验了LED对迎面司机所造成的不舒适眩光及对逆反射交通指示材料显色性的影响。在两种情况下,对使用LED与将传统钨丝灯更改为高强度气体放电(HID)灯的情况下上述属性的改变进行了对比。详细来讲,实验中分别使用了7个LED光源(前照灯用)和17个现有的HID前照灯,通过比较他们的色度学参数来分析不舒适眩光所受影响。类似的,对显色性影响的分析是通过比较使用两种不同光源时7种红色逆反射材料(目前在交通控制中以红色信号传递信息最多)的色度学参数而获得的。通过分析,对现有的LED产品系列有如下结论:1)比现有的HID系统产生更多的不舒适眩光,实质上比卤素灯系统产生了更多的不舒适眩光;2)显色指数可接受;3)对红色逆反射材料的视亮度没有明显的影响。

关键词 发光二极管 汽车前照明灯 眩光 显色性

引言

在过去几年里,发光二极管(LEDs)的光输出获得了很大提高,因此对于将LED应用在汽车前照灯中的兴趣也日益增长。然而,LED比传统光源即卤素灯具有更多种的光谱能量分布,因此,有必要对其对汽车前照灯的眩光和显色性的影响进行检验,因为这两个指标与光源的光谱能量分布息息相关。

检验光源的眩光和显色指数的一种办法是利用观测者在实验室或特定场地进行实验研究。然而,在过去的15年来,我们对一种新引入的汽车前照灯光源有了大量的认识,这种认识来源于以往的研究及在路上的应用经验。总体而言,目前的数据表明HID光源的显色指数是可以的,但是HID光源比卤素光源产生更多的不舒适眩光(而非失能眩光)。因此,本研究方法是以前HID光源作为基准点对LED的使用进行评价。

1 方法

1.1 不舒适眩光的测试原理

有充分的证据表明,HID前照灯的色度影响了人们对不舒适眩光的主观感受。虽然此前的研究并未

精确描述人们的主观感受由什么所支配,然而可以确定的是,随着蓝光成分的增加或是色温的增加,不舒适度也增加了。由于一些LED光源的蓝光成分较多,具有相对较高的色温,有观点认为LED前照灯也会产生较强的不舒适眩光。为了比较不舒适眩光的影响,我们可以把LED光源在CIE1931年色品图的位置与HID灯和卤素灯的进行比较,如果LED光源在色度表中的位置介于另两种光源之间,则LED光源不会产生比HID光源更多的不舒适眩光。如果LED比HID光源位于色度表中的更蓝和色温更高的位置,则会比HID产生更多的不舒适眩光。

1.2 显色性的测试原理

评估LED前照灯显色性的方法和评估其不舒适眩光的方法相类似。也就是说,重点关注以下问题:由LED前照灯照明时引起的交通控制材料的色度参数的改变比使用HID前照灯系统时大还是小(两者分别与卤素灯系统相比)?同时考虑三个色度学参数:色调、饱和度(考察 x, y 色品坐标值)和视亮度(Y 值),并主要采用红色逆反射材料作为被照对象,因为红色材料在驾驶环境中使用最多(由于红色警示标志的重要性)。(最近几项研究提供了HID前照灯系统的显色性的背景信息。

1.3 光源

实验中使用的 7 个 LED 系统由 5 个生产商提供, 9 个卤钨灯系统由 5 个生产商提供, 17 个 HID 系统由 2 个生产商提供。(这 17 个 HID 光源是从最近一项研究所使用的 19 个光源中拿出的)。LED 光源的光谱能量分布曲线(图 1)由光源和前照灯系统的生产商提供。卤素光源和 HID 光源的光谱能量分布曲线由型号为 PR-650 的光谱仪测量而得。关于光源的型号和组成见表 1 所述。

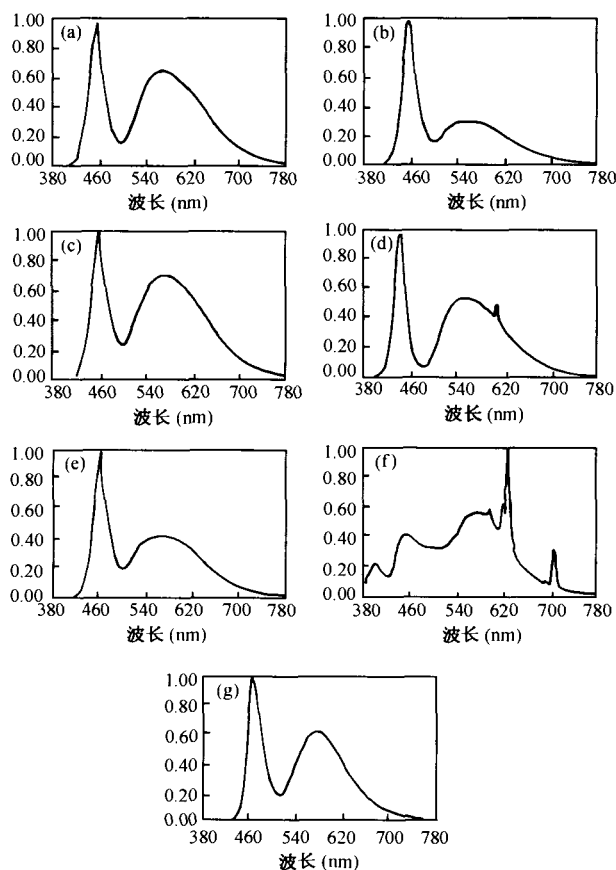


图 1 研究中所用 LED 光源的光谱能量分布 (纵坐标为相对能量)

表 1 所使用光源的类型和组成

光源类型	组成	数量
LED	LEDs + 荧光粉	7
卤素灯	HB2	5
	H7	2
	H1	1
	HB3	1
HID 灯	D2R	9
	D2S	8

1.4 逆反射材料

实验中所用的 3 种红色逆反射材料的光谱反射率数据由 3 家生产商提供。每个生产商都提供了微棱镜材料的数据, 其中两个生产商还提供了玻璃珠型和附着型材料的数据。部分反射率数据(两组红色玻璃珠型材料中的一组)如图 2 所示。

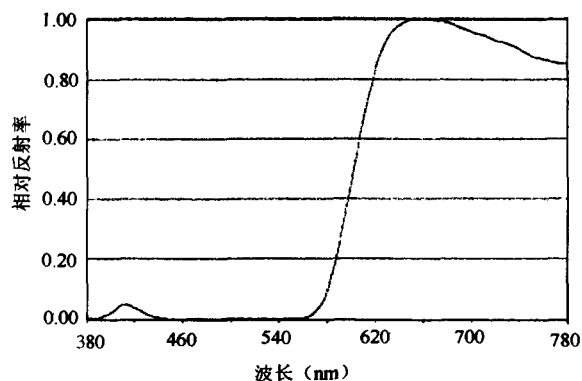


图 2 红色玻璃珠型材料的反射率

1.5 光源的色度学计算用于评价不舒适眩光

表 2 所示为各种光源的色度学计算结果。

表 2 光源色品坐标的计算方法

步骤	计算	获得值
1	$\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} (\text{光源光谱能量分布})_{\lambda} \times (\bar{x})_{\lambda}$	X
2	$\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} (\text{光源光谱能量分布})_{\lambda} \times (\bar{y})_{\lambda}$	Y
3	$\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} (\text{光源光谱能量分布})_{\lambda} \times (\bar{z})_{\lambda}$	Z
4	$\frac{X}{X + Y + Z}$	x
5	$\frac{Y}{X + Y + Z}$	y
6	重复以上步骤, 分别进行 LED 光源、卤素光源和 HID 光源的计算	

1.6 逆反射材料的色度学计算/光源对显色性的影响

使用不同光源照射不同逆反射材料的计算结果如表 3 所示。

1.7 相对强度计算用于评价相对视亮度

使用不同光源照射不同逆反射材料的计算表明了各种照明条件下逆反射材料的相对强度值, 如表 4 所示。表 4 所计算的 Y 值表明在各光源的照明下逆反射材料的相对光强。在其他光源条件下使用同样

的计算表明其结果一致。

表3 决定显色性能的色标的计算方法

步骤	计算	获得值
1	$\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} (\text{光源光谱能量分布})_{\lambda} \times (\text{材料的光谱反射率})_{\lambda} \times (\bar{x})_{\lambda}$	X
2	$\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} (\text{光源光谱能量分布})_{\lambda} \times (\text{材料的光谱反射率})_{\lambda} \times (\bar{y})_{\lambda}$	Y
3	$\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} (\text{光源光谱能量分布})_{\lambda} \times (\text{材料的光谱反射率})_{\lambda} \times (\bar{z})_{\lambda}$	Z
4	$\frac{X}{X+Y+Z}$	x
5	$\frac{Y}{X+Y+Z}$	y
6	重复以上步骤,分别对使用 LED 光源、卤素光源和 HID 光源照明不同逆反射材料的情况进行计算	

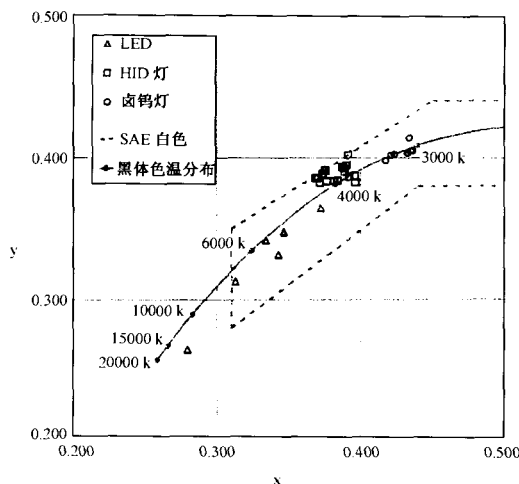


图3 各光源色品坐标的计算值在 1931 年 CIE 色度空间上的位置(2°观测)

表4 使用不同光源照射下不同逆反射材料相对强度的计算

步骤	计算	结果
1	用 SPD 和 V(λ) 的乘积 计算人眼视觉 敏感度	各种光源进行修正以计算人眼视觉敏感度
2	对第1步所获得的各乘积对3种光源分别进行求和,并对所有结果进行归一化。	所有光源的明视觉归一参数
3	$\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} (\text{相对光源光谱能量分布})_{\lambda} \times (\text{材料的光谱反射率})_{\lambda} \times (\bar{y})_{\lambda}$	Y

y 是 CIE 色品函数之一。

2 结果

2.1 不舒适眩光

图3标示出色品坐标的计算值在 1931 年 CIE 色品图上的位置。从图3中很明显得出以下结果:

- (1) 3种光源的色品坐标不存在重叠;
- (2) 三种灯中,卤钨灯具有最低的色温(3 000 ~ 3 500K),HID 灯色温较高(3 700 ~ 4 100K),LED 具有最高色温(4 200 ~ 14 000K);
- (3) 虽然 7 个 LED 中的 6 个落在汽车工程学会(SAE)所定义的“白光”范围内,它们比现有的蓝色 HID 灯看起来更蓝;
- (4) LED 的分布跨度最大。

根据 LED 的色度参数和 HID 灯的比较,我们预

测所有实验中的 LED 光源将会比 HID 光源产生更多的不舒适(在一定的照明条件下对观测者双眼产生的不舒适眩光),这也自然意味着比卤钨灯产生更多的不舒适眩光。当然,由于 LED 具有很大的彩度分布范围,有很多途径可以解决这一潜在的问题。也就是说,如果减少 LED 中的蓝光成分,并尽可能地降低其色温,则有可能减弱这一问题。然而,人们对光谱能量分布和不舒适眩光之间的关系了解并不全面,对这一课题进行深入研究,将是很有意义的。

2.2 显色性

图4、5、6所示为3种类型逆反射材料(附着型、玻璃珠型和微棱镜型)的色品坐标 x, y 的计算结果。同一种照明条件下具有不同的几组分布分别对应于不同的生产商所提供的产品。虚线表示在标准照明体 A 下红色材料的夜间极限。从图中可以获得如下结果:

- (1) 附着型和玻璃珠型材料的色品坐标不存在重叠区域;而微棱镜型材料存在部分色度重叠;
- (2) LED 光源照射下获得的结果倾向介于 HID 灯和卤素灯照明的结果之间。对玻璃珠型材料这一结果最为明显。
- (3) 对附着型材料,LED 照明的结果比其他两种光源呈具有更低的饱和度的趋势。
- (4) 同一种照明条件下各个生产商提供的产品各自聚集状态。这一结果尤以附着型材料为明显。

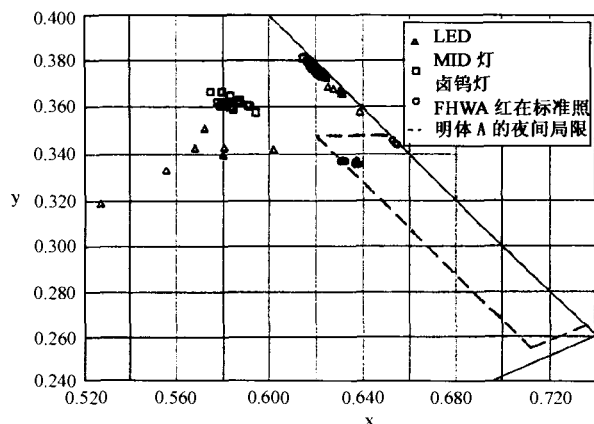


图 4 红色附着型材料在各种光源照明下的色品坐标

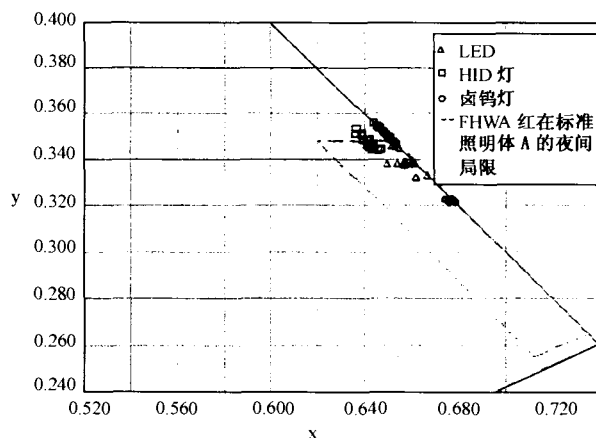


图 5 红色玻璃珠型材料在各种光源照明下的色品坐标

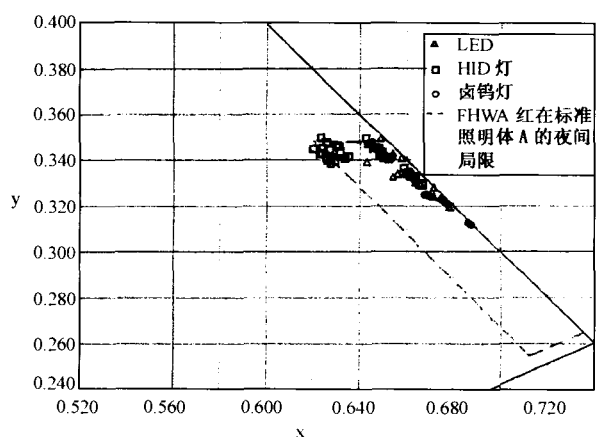


图 6 红色微棱镜材料在各种光源照明下的色品坐标

Y_s 值定义为 1。

表 5 各材料在 LED 和 HID 光源照射下的相对强度

颜色	附着型材料		玻璃珠型材料		微棱镜型材料	
	LEDs	HIDs	LEDs	HIDs	LEDs	HIDs
红色	0.88	0.99	0.81	0.92	0.80	0.90

从表 5 的数据可见,在 LED 光源的照射下(相对于卤钨灯的值),红色材料的相对强度较弱。但是通常认为:1)主观视亮度与物理强度呈对数函数关系(在光源的特定区域内);2)判别具有应用意义的一个比较合理的差异值通常是 25%。因为表 5 中的差异都小于 25% (最大差异只有 20%),我们认为实验中所用的 LED 光源对红色逆反射材料的强度不太可能有很大的影响。

3 结论

3.1 不舒适眩光

根据计算所得 LED 的色度参数和 HID 光源比较,我们预测所有实验中的 LED 光源将会比 HID 光源产生更多的不舒适,也意味着比卤钨灯产生更多的不舒适眩光。为了解决这一潜在的问题,我们推荐尽可能减少 LED 中的蓝光成分,并尽可能地降低其色温。

3.2 显色性

我们对红色(红色是交通标志系统中最重要颜色)逆反射材料的计算结果表明,由 LED 前照灯照明时引起的交通控制材料的色度参数的改变(与卤素灯系统相比)比使用 HID 前照灯系统时小,由于观测者对 HID 灯的照射结果表示认可,我们认为 LED 的显色性也是可以接受的。

3.3 视亮度

计算结果表明,在 LED、HID 灯和卤素灯 3 种光源的照射下,红色逆反射材料的相对强度结果与 LED (和 HID)所包含的红光少于卤素灯所包含的红光这一事实相一致。也就是说,在 LED 光源的照射下红色材料的强度比卤钨灯照射时弱。但是由于其中的差异均小于传统认为有差别的临界值 25%,我们认为实验中所用的 LED 光源对红色逆反射材料的视亮度不会有很大的影响。

[英]《照明研究与技术》2004.4

2.3 相对强度和相对视亮度

表 5 所示是各材料在 LED 和 HID 光源照射下的平均相对强度值。表中的量为 Y_s ,并把卤钨灯下的

(本文编辑 高杉楠)