

# LED 汽车前照灯

龙 奇 陈大华 译

(复旦大学电光源研究所 上海 200433)

## 摘 要

作为 21 世纪的光源,LED 吸引着人们密切的关注,但在作为汽车前照灯的实际应用中,对例如系统要求高效率等问题就更必须予以充分考虑。本文讨论了作为汽车前照灯使用的 LED 光源需要达到的性能,并展示了使用 LED 的下一代汽车白色 LED 前照灯系统。

关键词 白光 LED 汽车前照灯 光学系统 样品

## 引言

自上世纪 90 年代白色 LED 的出现开始,其亮度增大趋势是如此之快,以至于我们都把它们视为 21 世纪的光源。现在我们使用白色 LED 作为汽车前照灯的光源,这样它们的优越性就可以得到充分的展示。这种新系统比通常使用的卤钨灯要明亮,与 HID 头灯的亮度差不多。但是考虑到 LED 光源特有的优越性,比如重量轻、安装深度小、耗能低、寿命更长、没有环境污染等,它们的确更适合作为下一代汽车前照灯系统的光源。此外,白色 LED 的使用还可以使整个车的设计变得更加灵活。现在我们正在进行白光 LED 汽车前照灯的研发工作,以充分展示它们的优越性。

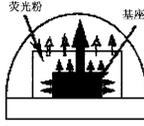
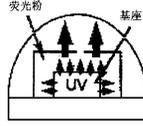
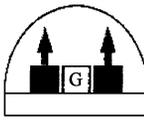
## 1 白光 LED 的现状

### 1.1 白光 LED 的原理

白光 LED 有几种不同的工作原理,表 1 展示了 3 种典型的原理。表 1a 中的“蓝光 LED + 黄色荧光粉”型是白光 LED 发展的最高水平,它最有可能被用在第一代 LED 汽车前照灯系统中。表 1b 中的“紫外线 LED + 红绿蓝三色荧光粉”型因其高的显色指数而最有潜力作为通常的照明系统用灯,但作为前照灯系统使用时还应研究如何克服紫外光对塑料的老化作用。表 1c 中的“红绿蓝三芯片”型有改变发光颜色的性能,但它目前仍然不能在前照灯系统中使用,因为很难克服它在使用过程中颜色的改变,这种颜色改变可能来自 3 种芯片温度特性的不同,也可能来自不同

LED 的损耗退化速度。

表 1 白光 LED 的原理

	a	b	c
	蓝光 LED + 黄色荧光粉	紫外线 LED + 红绿蓝三色荧光粉	红绿蓝三芯片
原理			
基座	蓝: InGaN	紫外: InGaN	红, 绿: AlInGaP (绿), 蓝: InGaN
荧光粉	黄色	红绿蓝	—
显色指数 HID:65	80	90	90
光效 1m/W	30	30	
问题	蓝光和红光比率变化造成颜色的改变	紫外光对材料的老化问题	红绿蓝光比率的改变造成颜色的改变

### 1.2 光通量

近年来白光 LED 的光效取得了显著的进步,2003 年早期市场上一些高功率的 LED 光效已经达到了 30lm/W。图 1 显示对高功率 LED 光效提高的期待。最终 LED 的光效将达到一个在 120 ~ 200lm/W 之间的极限值。到 2005 或 2006 年,其光效就可达到 60lm/W,最大功率预计可以达到 1 ~ 5W,因此一个 LED 的光通输出预计能达以 60 ~ 300lm。

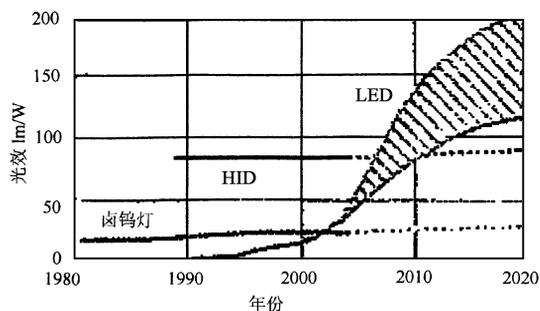


图1 用于汽车前照灯的白光LED的光效

### 1.3 亮度

在通常的照明领域,LED作为荧光灯的替代品,其亮度从来就不是一个问题,只要光通量能不断增大就可以了。因此LED技术的核心是如何提高光通量而不是提高亮度。但在汽车前照灯系统中,亮度就显

得比光通量重要得多了,其主要原因如下:

当今LED的亮度最大是 $4\text{cd}/\text{mm}^2$ ,这个数值比卤钨灯亮度 $20\sim 25\text{cd}/\text{mm}^2$ 要低得多,而与HID前照灯比就更是低了10倍多。因此,为了设计出合适尺寸的汽车前照灯系统,单个LED的输出亮度必须提高到现在的2~3倍。

更进一步分析可见,使用荧光粉的LED的出射亮度不仅仅决定于芯片的尺寸,同时还决定于与芯片作为一个整体的包含荧光粉的发光表面的外观尺寸。举个例子来说,同样是一个面积为 $1\times 1\text{mm}$ 的芯片,它能发出30lm的光通量,但是它的亮度却能在 $0.6\sim 4\text{cd}/\text{mm}^2$ 之间变化,这取决于荧光粉的涂敷方式及部件的封装方法(如图2所示)。因此,用于汽车前照灯的LED用荧光粉必须涂敷得尽可能薄,这样就不会增大光源系统的表面积。

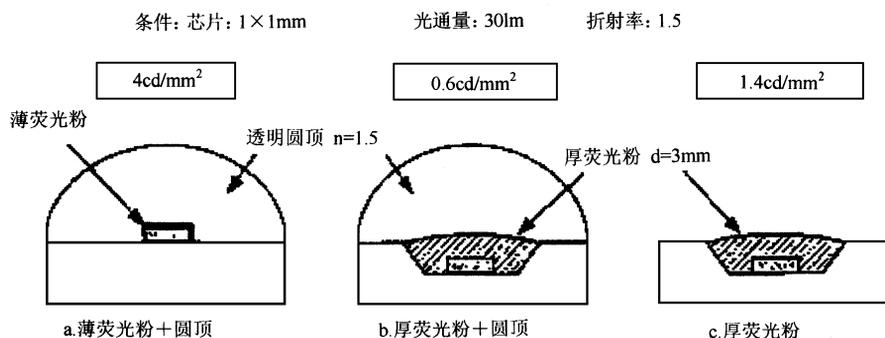


图2 不同结构的LED的亮度

### 1.4 寿命

通常而言,LED的使用寿命很长。在消费电子产品中,LED光源的寿命与产品寿命相比足够长,据报导一些高功率的LED的寿命能超过10000h,但遗憾的是,这些都是没有考虑到作为汽车前照灯这一苛刻的工作环境得到的结果。如果要用于汽车前照灯,LED的寿命必须超过HID光源的3000h,若进一步考虑到替换LED光源的过程难度更大,LED的寿命要求能够超过10000h。LED光源要想成为汽车前照灯,其寿命仍然有待改进和提高。

## 2 汽车前照灯的实际应用

### 2.1 光学系统

一套LED前照灯系统毫无疑问需要多个LED光

源,因为单个LED不能提供足够的光通量。同时,通常的卤钨灯和HID光源,它们发出的光线会射向除基底外的各个方向,而一般的目前使用的大功率LED发出的光线因受到结构的限制,只会向半球的方向发射。这就使得使用LED的前照灯的光学系统与常规的前照灯系统不同。但是这两种前照灯系统对其出射光的要求是一样的,因此基本上可以使用通常的方法设计使用LED的前照灯系统。

比光学特性不同更重要的是,由于LED光源的低发热,LED前照灯系统中与光源相连接的部分可以使用塑料材料,这为设计者的配置设计提供了更大的自由性。同时设计者可以使用塑料导光管,这一点对目前前照灯系统来说是难以实现的。因此,当设计LED前照灯光学系统时,设计者将有更大的选择空

间:不但可以采用传统的自由构造的反射器件和投射器件,同时可以使用塑料导光管,这就让设计者能根据不同的条件使用不同的方法以达到美观性的要求,从而能使汽车前部外形轮廓更趋合理。

## 2.2 光学系统组成成分的精确尺寸定位

因为 LED 光源和光学系统做得更小,光学元件的相对位置就要求更加精确。以直接投射光学系统为例,图 3 显示了透镜和 LED 的相对位置对出射光束的光轴方向的影响。LED 前照灯系统包含了大量的光源,对于宽光束分布的远光束系统,透镜和 LED 相对位置的影响不会成为问题。而近光束有非常尖锐的截止面,为了达到各个 LED 单元发光光轴方向的一致性,前照灯系统的各个组成之间的相对位置就要求非常精确。这种精确的尺度要求远远高于通常汽车前照灯的精度,因此 LED 头灯系统的制造工艺正期待着创新性的突破。

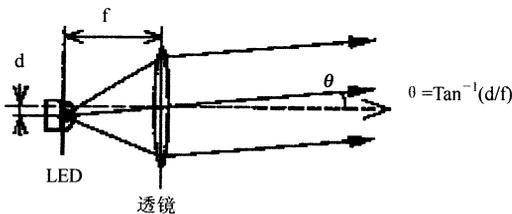


图 3 直接投射光学系统中 LED 放置位置的影响示意图

## 2.3 LED 的亮度和头灯的尺寸

光源的亮度在汽车前照灯系统中显得格外重要,因为近光束灯要求达到 2 000 ~ 30 000cd 的光强度,而远光束灯至少要求达到 50 000cd 的光强。光源在一个给定方向的光强度取决于光源的发光部分在该方向的亮度,换句话说,取决于光源中许多的小发光体的亮度的总和。在此小发光体就是组成光源的众多 LED,光源 LED 的亮度需要考虑到光线在各个光学部件的反射和传输中的衰减。在一个典型的前照灯系统中,光在各个光学元件包括外透镜在内总的衰减大约是 25% ~ 40%。根据物理学的观点来看,光学元件是不可能放大光源的亮度,因而对光源的亮度的要求就决定了前照灯表面面积的下限了,见图 4 所示。这里的表面面积是指从前方看过来的发光面积。而设计一个实际的前照灯,为了形成漫射光线及考虑系统其他元件的性能,这个面积的数值要变成原来的 2

~ 3 倍。如前文所述,目前使用 LED 最大亮度是  $4\text{cd}/\text{mm}^2$ ,这显然是不够的。考虑到汽车前照灯的实际尺寸,对近光束,LED 的亮度至少要提高到目前的 2 倍,而远光束就要求提高到 3 倍。

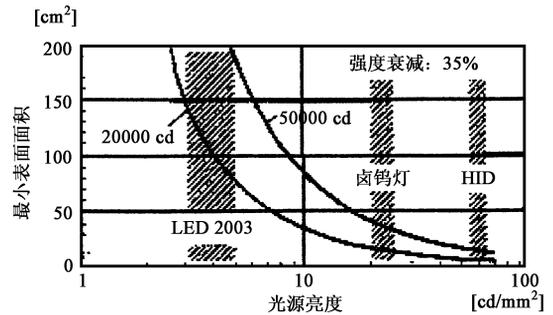


图 4 光源的亮度与汽车前照灯的最小表面面积的关系

## 2.4 近光束

为了证明 LED 前照灯系统的可能性,我们制造了能产生近光的带反射器的灯具样品,它的光分布符合美国的标准。图 5 展示了这种模具,图 6 是它的光分布情况。36lm 的光通量和 1 600cd 的最大光强可以通过使用 2 个 LED 配合一个 38mm × 94mm 的反射镜得到,其应用的每个 LED 功率为 1W,亮度是  $4\text{cd}/\text{mm}^2$ ,光通量是 30lm,芯片的尺寸是 1mm × 1mm。为了使系统的最大光强超过 20 000cd,需要使用 13 个这样的单元。每个单元的反射面的投影面积是  $35.72\text{cm}^2$ ,因而 13 个单元的总投射面积是  $464.36\text{cm}^2$ 。拥有这样一个投射面积的头灯系统就太过庞大而不可能在实际中应用。为了制造一个实用的样品,LED 的亮度至少要增加 2 倍。

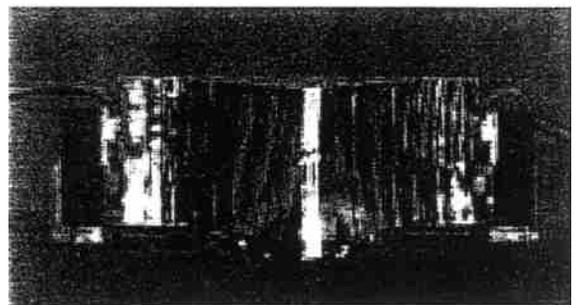


图 5 产生近光的带反射器的灯具样品

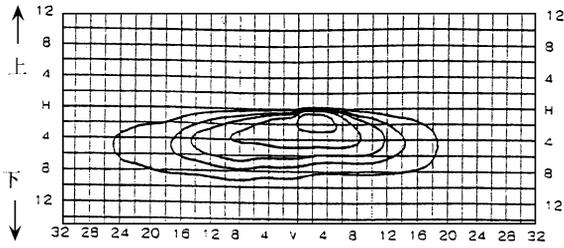


图6 近光带反射器的灯具样品的光分布

### 2.5 远光束

我们进一步试验如图7所示的带反射器的远光灯具样品。图8显示了它的光分布情况。3600cd的最大光强是使用1个LED配合一个半径为30mm的半圆形反光镜得到,其应用的每个LED功率为5W,亮度大约是4cd/mm<sup>2</sup>,光通量是95lm,芯片的尺寸是2mm×2mm。为了使其最大亮度能超过50000cd,需要使用14个这样的单元,每个单元的反射面的投影面积是28.26cm<sup>2</sup>,因而14个单元的总投射面积是395.64cm<sup>2</sup>。拥有这样一个投射面积的前照灯系统就太过庞大而无法实际应用。为了制造一个实用的样品,LED的亮度至少要增加3倍。

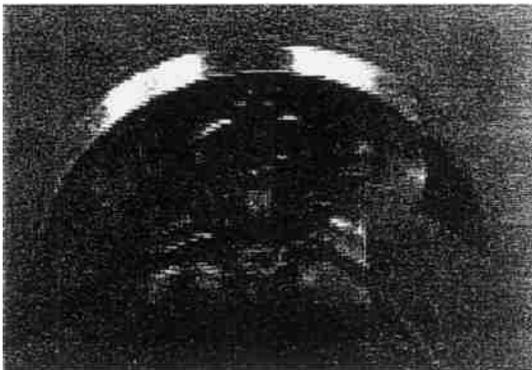


图7 产生远光的带反射器的灯具样品

### 2.6 LED的最大工作温度和热处理

在LED的所有的工作条件下,作为发光同时也是发热的部件——P-N结的温度( $T_j$ )不能超过绝对额定值( $T_{jmax}$ )。目前 $T_{jmax}$ 大约是120,通过下面的计算可以看到,无法通过自然风冷而达到这一要求。

下例中我们估计了LED的PN结的温度,从而从热学观点来评定LED前照灯系统的可行性。

条件:

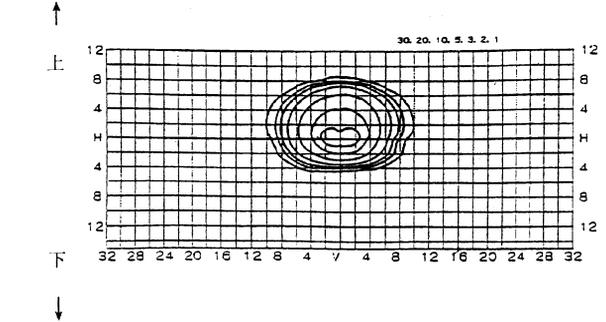


图8 远光带反射器的灯具样品的光分布

单个LED输入功率:  $P_{LED} = 2W$

总的LED消耗功率:  $P_{LAMP} = 24W (2W \times 12 \text{ 单元})$

LED的热阻:  $Rth_{j-hs} = 15 \text{ } /W$

散热器热阻:  $Rth_{hs-a} = 1.5 \text{ } /W$  (散热器使用铝和黑色明矾石制成,体积为400cm<sup>3</sup>,为了实现灯的自然风冷,以鱼鳍状延伸到灯的外部)

周边温度:70 (灯后方的散热片周围的周边温度)

我们简化计算模型用以得到整个平衡的结果

计算:

周边温度:  $T_a = 70$  (1)

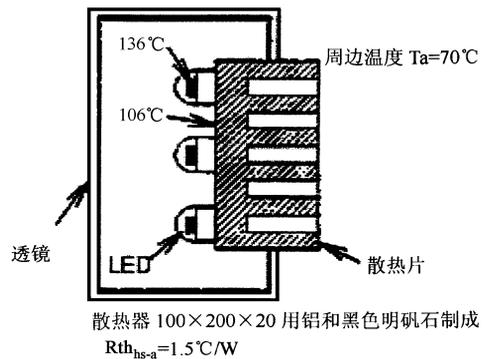
散热器的温升:  $dT_{hs} = P_{LAMP} \times Rth_{hs-a} = 36$  (2)

芯片的温升:  $dT_j = P_{LED} \times Rth_{j-hs} = 30$  (3)

由式(1)(2)(3),我们就能得到PN结的温度:

$$T_j + T_a + dT_{hs} + dT_j = 70 + 36 + 30 = 136$$

在这种条件下 $T_j$ 超过了120,因此必须使用强制冷却。



散热器 100×200×20 用铝和黑色明矾石制成  
 $Rth_{hs-a} = 1.5/W$

图9 LED前照灯的温度分布

### 3 前照灯样品

我们已经生产了前照灯的样品。图 10 展示了我们设想的未来的 LED 头灯系统,它的光源全部采用 LED,能产生远光束和近光束,并能改变灯倾角的模式。我们通过使空气进入灯前的开口而实现冷却。图 11 展示了我们用以验证工作原理而设计的 LED 前照灯系统。它可在实际应用的汽车上安装并测试。LED 头灯的近光束能产生 19 000cd 的光强和 500lm

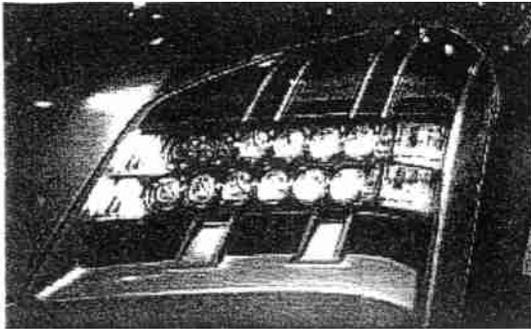


图 10 全部使用 LED 的汽车前照灯样品

的光通量输出,这对卤钨灯前照灯系统来说是一个非常具有竞争力的数值。我们正在收集关于用这种灯热处理的数据。图 12 显示了这种灯的光分布情况,因为采用的是目前 LED 产品,它并没有达到最佳的情况,但它足以证明 LED 作为汽车前照灯的潜力。随着 LED 性能的优化,LED 前照灯系统在光分布方面也一定不会比现有的前照灯系统差。

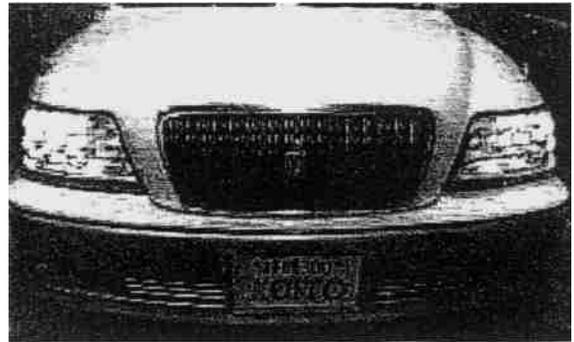


图 11 样品在实际的汽车中的应用

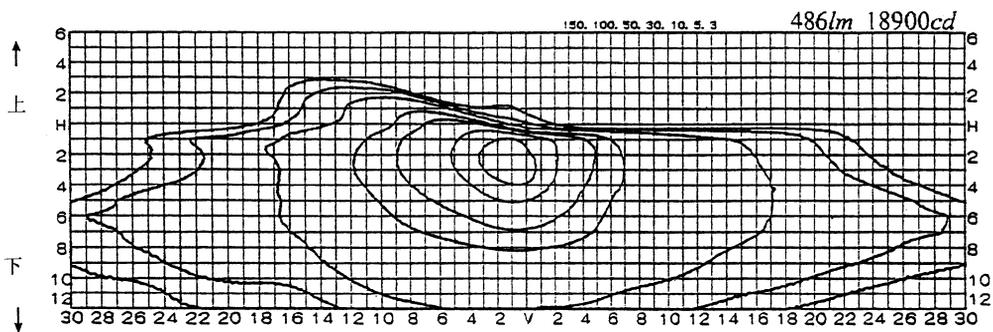


图 12 实际用于汽车的 LED 前照灯样品的光分布

### 4 结论

现在可用的白光 LED 虽然已经取得了很大的改进,但仍因其光强度偏低而不能用于商业汽车前照灯,并且还存在着光学系统需要进一步优化的问题。尽管现在这种 LED 前照灯系统仍不可行,但它潜在的优势却清楚的显现出来了。LED 亮度和稳定性的提高,消耗费用的下降,灯尺寸的生产工艺进步,光学系

统的优化,所有的这些问题有望在不久的将来得到解决,从而使用 LED 前照灯的汽车一定会在公路上出现。我们相信,美观、节能、安全、低耗费的 LED 汽车前照灯系统一定能得到普及。

译自 SAE International 2003

(本文编辑 江 姗)