

·光电系统·

## 汽车前照灯设计原理的研究

王程,朱向冰,郝文良,田丽伟

(安徽师范大学光电技术研究中心,安徽 芜湖 241000)

**摘要:**汽车前照灯主要是提供司机驾驶时前方的路面照明,保障行车的安全,它是汽车的重要组成部分。汽车前照灯在结构上一般有光源、反射器、配光镜三部分。分别从这三部分的原理、国内外研究进展、相关的法规和配光检测、前照灯的分类等方面展开论述,分析了几种新颖的LED前照灯设计,总结了前照灯设计的一般步骤,介绍了当前热门的自适应前照灯系统(AFS)。

**关键词:**应用光学;汽车前照灯;光源;反射器;配光镜;自适应前照灯系统

中图分类号:O439

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2013)-06-0023-08

## Research on Design Principle of Automobile Headlamp

WANG Cheng, ZHU Xiang-bing, HAO Wen-liang, TIAN Li-wei

(Photoelectric Technology Research Centre, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China)

**Abstract:** Automobile headlamp is an important part of automobile, which can provide road surface lighting in front of the driving direction for drivers and guarantee driving safety. It usually includes three parts such as light sources, reflectors and lenses. Principles of the three parts, domestic and foreign research progress, relative rules, light distribution testing and the classification of headlamps are introduced respectively. The designs of new LED headlamp are analyzed. Common design process of automobile headlamp is summarized. A popular adaptive front-lighting system (AFS) at present is introduced.

**Key words:** applied optics; automobile headlamp; light source; reflector; lens; adaptive front-lighting system (AFS)

近年来,中国的汽车工业迅速发展,汽车灯具作为汽车的重要组成部分,无论在外型设计还是光能利用率方面都有长足的进步。汽车灯具分为照明灯具和信号灯具两种类型。其中前照灯是汽车灯具中结构最复杂,设计难度最大的。一方面车速越来越快要求汽车前照灯的光强越来越高;另一方面行车安全要求前照灯对迎面车辆司机造成的眩光越低越好<sup>[1]</sup>。汽车前照灯有远光灯、近光灯、防雾灯和昼行灯。远光灯主要用于高速、郊区或照明条件不好的路面。远光灯的照明距离远,但是容易造成眩光。近光灯主要用于市区、路口以及两车交汇的时候。近光灯的光型和光能量分布比远光灯的要求高。防雾灯是在雾天行驶时开启。昼行灯是白天开启的一

种信号灯,可以使车辆更容易被认出来。文中主要讨论近光灯和远光灯。以下简称前照灯。前照灯在结构上一般有光源、反射器、配光镜三部分。

### 1 前照灯的光源

随着时代的不断发展和进步,汽车前照灯的光源也在不断的更新,从早期的煤油灯、乙炔灯,到白炽灯,再到现在的卤钨灯,氙气灯(HID)以及LED。光源的效率和寿命都在不断增加。早期的汽车前照灯是用煤油灯作为光源的,但是煤油灯亮度太低,不能满足路面照明的要求。乙炔灯是通过点燃乙炔气体产生明亮的火焰来实现照明的,乙炔气体是由电

收稿日期:2013-07-26

基金项目:安徽省高校自然科学研究重大项目(KJ2011ZD03)

作者简介:王程(1989-),男,安徽六安人,硕士研究生,主要从事LED光学设计和汽车前照灯配光的研究。

石(碳化钙)和水反应得到的。乙炔灯亮度比煤油灯高,但是需要消耗大量的电石,经济性差。白炽灯的发明是具有跨时代的意义的,它以其高亮度的优点迅速应用到照明的各个领域。白炽灯的工作原理是电流通过钨丝产生热量,当温度达到2 K以上时,灯泡达到白炽状态,就可以发出亮光。温度越高,亮度越大。由于在产生热量的同时也燃烧了钨丝,所以白炽灯的寿命短。卤钨灯是填充气体内含有部分卤族元素或卤化物的充气白炽灯。卤钨循环大大延长了卤钨灯的寿命。氙气灯,又称高强度放电灯,英文简称HID。氙气灯的发光原理是镇流器将电极两端的12 V电压瞬间提升到2万伏,灯泡内的氙气被击穿,产生亮度极大的光芒。氙气灯在效率、耗材和寿命方面都超越了白炽灯,提高了驾驶的安全性<sup>[2]</sup>。LED被看作是21世纪的光源,它具有寿命长、环保节能、启动快、设计自由度高等一系列优点。近十年来,飞利浦、欧司朗、日亚等公司都加大LED技术的研发力度,欧司朗公司已经研发出发光效率142 lm/W的白光LED。随着LED技术的日趋成熟,LED很自然的被人们应用到汽车照明领域。LED一开始只是作为汽车的信号灯和内部照明,现在已经有汽车公司将LED应用于汽车前照灯上如奥迪、丰田等。但是LED仍然存在的单颗光能量不足和散热的难题。B. KANG, B. YONG 等对LED的配光、眩光和可见度三方面特性做了大量的仿真和实验,并将这些实验结果与目前车灯市场上流行的卤钨灯和HID的特性做了对比<sup>[3]</sup>。结果显示,LED的三方面的特性都超过卤钨灯,和HID相比也有很强的竞争力,如在发光强度和光束宽度方面;LED的色度不能满足现有的汽车前照灯的标准,在截止线附近可能会产生眩光;LED可以提供足够的可见度。M Sivak, B Schoettle 等通过比较7个LED和17个HID以及卤钨灯的光强分布图和一些计算,预测LED会比HID和卤钨灯产生更多的不舒适的眩光<sup>[4]</sup>。

## 2 前照灯的反射器和配光镜

### 2.1 反射器

前照灯的反射器早期采用的是抛物面反射器和椭圆反射器,因为抛物面和椭圆面都是旋转对称的,所以反射的光型也是对称的,并且大部分光源不能被看成点光源,因为灯丝本身有一定的长度,即使将

光源放置在焦点上,光线也会产生发散。这些都不符合前照灯的法规要求,所以人们设计出类抛物面和类椭圆面形状的反射器,如余桂英等设计的投射式LED前照灯的反射器就是类椭圆形状的<sup>[5]</sup>,如图1所示。该发射器的水平截面的第二焦点和垂直截面的第二焦点相同( $f_3$ ),第一焦点不同( $f_1$ 和 $f_2$ )。中间部分的焦点按三角函数的变化由 $f_1$ 渐变到 $f_2$ 。再如朱晓东设计的类抛物曲面LED前照灯<sup>[6]</sup>,如图2所示。类抛物曲面形状的反射器是该设计的最大亮点。近光灯由五个反射器 $v$ 和四个反射器 $h$ 组成,反射器 $h$ 和 $v$ 都被分为三份,每一份都控制配光屏幕上的一块区域,共同完成配光任务;远光灯由12个相同的类抛物曲面组成。该设计没有采用挡光板和透镜,所以光能利用率大。Chi-Tang Ma, Kao-Hsu Chou 等设计了一款双椭球面反射器<sup>[7]</sup>,如图3所示。该反射器的水平椭球面和垂直椭球面有相同的第一焦点,第二焦点则不同,同时当椭球反射器与中心轴的角度是 $30^\circ$ 时光型最好。类似的设计还有高铁成等设计的多椭球投射式LED前照灯<sup>[8]</sup>。单一的反射器本身有一定的局限性,设计的自由度不高,人们通常都会采用多个反射器的组合共同完成配光任务,特别是选取LED这种单颗能量无法满足配光要求的光源。

现代汽车车身都是流线型设计,类抛物面和类椭圆面形状的反射器已经不符合车型发展的趋势,而且它们受本身几何形状的限制,设计出来的车灯不能很好地满足配光标准,具体表现在远光不够远;近光容易产生眩光;光能利用率低等。自由曲面反射器的出现很好地解决非旋转对称系统和扩展光源的问题,它以设计自由度高,体积小,不易产生眩光等优点迅速应用到各种档次的汽车车灯上。目前自由曲面的设计方法主要有剪裁法<sup>[9]</sup>、同步多曲面法(SMS)<sup>[10]</sup>和基于多圆锥曲线法<sup>[11]</sup>。只要给定一个光源的能量分布和目标屏幕上所需要的能量分布,就可以根据剪裁法设计出反射器的形状。剪裁法实质是将光源能量重新分配,从而满足所需的能量分布的过程。剪裁法有2-D剪裁和3-D剪裁。2-D剪裁法用于旋转对称的系统,可以通过普通的微分方程解决。3-D剪裁法用于非旋转对称的系统,它解决起来的难度要比2-D剪裁法大得多,因为要解非线性偏微分方程,HARALD RIES 提出了一种利用边界条件来处理非对称的光学系统的3-D剪裁法<sup>[9]</sup>。同步多曲面法是采用逐点求解的方式对所有的待求曲

面同时求解,所有的待求曲面同时求解完成,一个曲面上的点可以通过另一个曲面上的已知点求的,如此反复后可以求出曲面上的全部点<sup>[10]</sup>。基于多圆锥曲线法就是利用圆锥曲线的性质将反射器的形状设计为类椭圆面或类抛物线面。

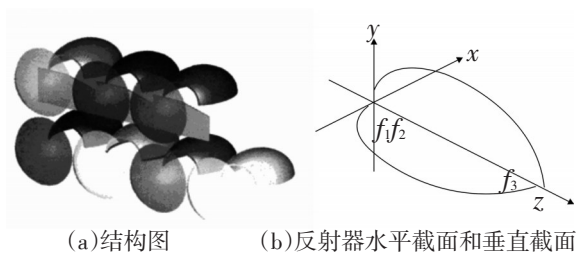
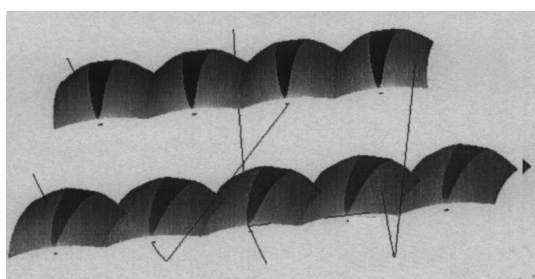
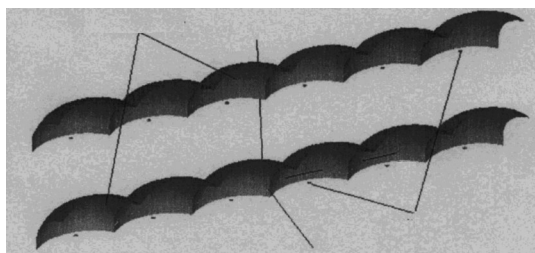


图1 投射式LED前照灯



(a)近光灯



(b)远光灯

图2 类抛物曲面LED前照灯

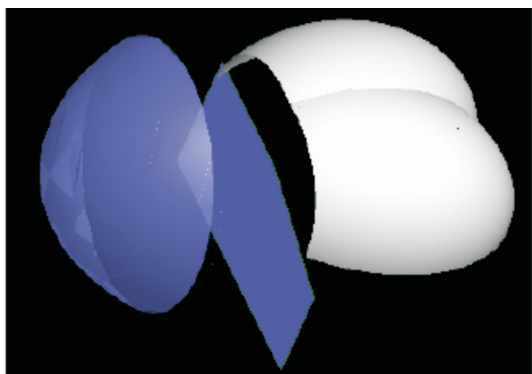


图3 双椭球面反射器

## 2.2 配光镜

前照灯的配光镜主要作用是将经反射器反射的

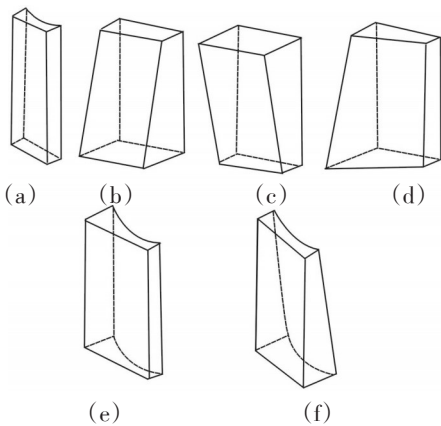
光线汇聚、扩散、偏转,从而满足前照灯的配光要求。配光镜一开始是采用球面透镜(如老式的桑塔纳的前照灯),球面透镜主要由散光玻璃压制成的,一般有圆柱形和楔形两种基本形状以及两种基本类型相互组合而成的形状<sup>[12]</sup>如图4。球面透镜的优点是易于加工,但是远轴光成像时会有散焦和球差,因此后来就采用非球面透镜作为配光镜。肖文德等在计算机上模拟了两种非球面的凸透镜,并将结果和球面凸透镜比较,结果显示在远轴成像的条件下,非球面透镜成像品质优良<sup>[13]</sup>。Fei Chen等设计的前照灯配光镜中引入了菲涅尔透镜<sup>[14]</sup>,如图5。该镜头结构上分为两部分:收集光和折射光。收集光用的就是菲涅尔透镜实现的,菲涅尔透镜可以很好地匹配扩展光源,提高光能的收集率。防止眩光一直是前照灯设计的最大难题之一。为了解决这个难题,人们设计出了自由曲面形状的透镜,如王洪等设计的一种LED汽车近光灯的自由曲面透镜,图6a中1,2,4是自由曲面,3是球面,5是柱面<sup>[15]</sup>。该设计的优点在于透镜体积小,而且很好的避免了眩光。设计思路如图6b,根据LED的出光角和配光屏幕上能量分布来确定透镜对光线的控制,光线被分为三部分,光线1经过一次折射,光线2经过两次折射,光线3经过两次折射和一次全反射,最终光线在配光屏幕上形成国标要求的光型和照度。再如Liwei Sun等利用折射定律和光线追踪原理设计了自由曲面透镜阵列,可以很好地解决LED不规则辐射模式的问题<sup>[16]</sup>。除了自由曲面透镜以外,几种不同的功能透镜组合在一起形成的配光镜也越来越多,如André Domhardt等设计的一种组合式透镜<sup>[17]</sup>,如图7,透镜的上端和下端是对称的全反射或折射表面,中间的是用来形成明暗截止线的表面,整个透镜的设计过程用到了VRS (virtually reflecting/refracting surfaces)表面造型、3-D剪裁、自动优化等方法,仿真结果也符合ECE标准且光能利用率较高。

## 3 汽车前照灯的相关法规和前照灯的检测

汽车前照灯的配光有严格的标准。国际上主要有两种标准,一种是美国的SAE标准;另一种是欧洲的ECE标准。两种标准的侧重点有所不同,SAE标准是先让车灯有足够的照度来满足路面照明,再考虑减少对其他司机和行人产生的眩光;而ECE标准

是先减少对其他司机和行人产生的眩光,再考虑路面照明所需的光照度。我国也制定了相应的配光标准 GB4599-2007,主要跟ECE标准接近。2010年我国颁布了用LED作为汽车前照灯光源的相关法规 GB25991-2010。

汽车的前照灯的远光灯和近光灯的光型和配光要求都是不同的。远光灯的光型是椭圆形状,如图8<sup>[18]</sup>,光型上下、左右基本对称分布,光分布均匀,从中心到外围,照度值逐渐减小<sup>[18]</sup>。远光灯的检测只要测试中心点以及中心点左右两侧区域的照度值在规定值以内即可,如表1<sup>[19]</sup>。



a为圆柱形,b,c,d为楔形,e,f为组合型

图4 球面透镜

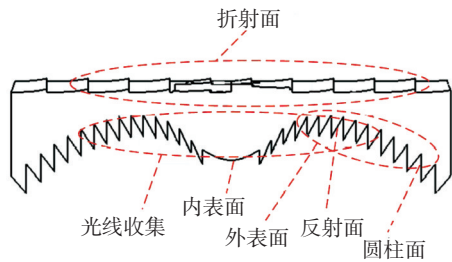
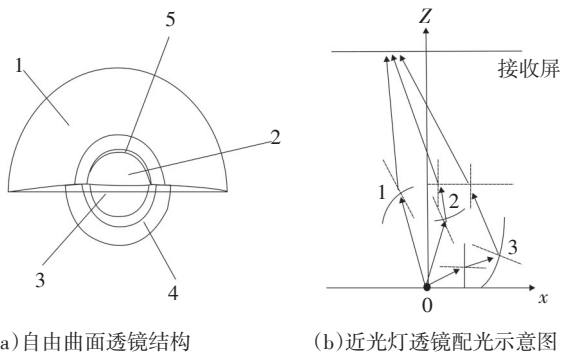


图5 镜头的结构



(a)自由曲面透镜结构

(b)近光灯透镜配光示意图

图6 LED汽车近光灯的自由曲面透镜

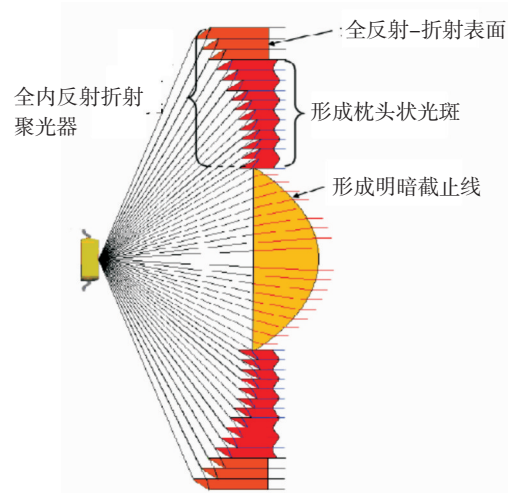


图7 组合式配光镜



图8 远光灯配光光型

表1 远光灯测试点和测试区域

测试点或区域	照度/(lx)
$E_{max}$	$\geq 48$ 且 $\leq 240$
HV点	$\geq 0.8 E_{max}$
HV点至1 125 L和R	$\geq 24$
HV点至2 250 L和R	$\geq 6$

近光灯的光型有两种,如图9<sup>[19]</sup>。一种是水平线和一条15°的斜线(h-HV-H2-H3);另一种是水平线和一条折线(h-HV-H1-H4)其中HV-H1为45°。图中主要分为4个区域,I为近距离照明区,表示距离车辆25 m内的照明情况,该区域应该用扩散性和均匀性良好的光来满足路面的照明需求。II,IV为过渡区域,表示25 m到截止线以下区域的照明情况,该区域的光能量应该较为集中,满足本车道和对面车道的照明需求。截止线以上的部分是区域III,是防

眩光区域,表示对其他车辆和行人造成的眩光情况,该区域的光能量应该严格控制。四个区域的光能量在水平方向应该平滑的变化。图中的铅锤线  $VV$  表示本车道(右车道)的中心线,直线  $HG$  表示右车道边线,直线  $HG'$  表示整个道路的中心线,直线  $HF'$  和  $HF$  分别表示左车道的中心线和边线。

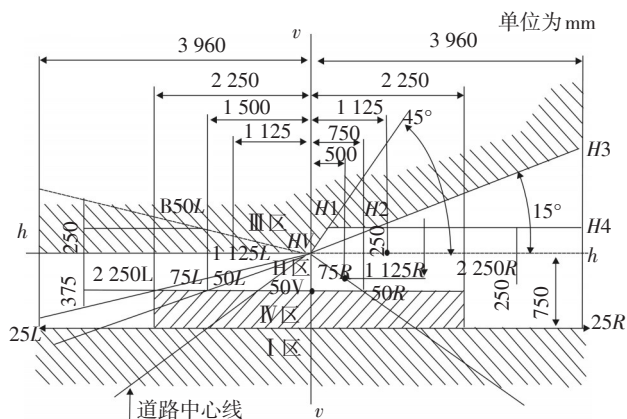


图9 近光灯配光图

前照灯近光灯检测的时候要检测8个点(B50L、75L、50L、25L、50V、75R、50R、25R)和3个区域(I、III、IV)的照度,如表2<sup>[9]</sup>。B50L表示对面来车司机眼睛的位置,被称为防眩光点,该点的照度要严格控制,控制在0.4 lx以下。75L和50L表示前照灯距离左车道75 m和50 m处的照明点,这两点的照度要小于规定值。75R和50R表示前照灯距离右车道75 m和50 m处的照明点,这两点的照度要大于规定值。25L和25R表示前照灯前方25 m处左、右两边的照明点。50V表示车灯正前方50 m处的照明点。

前照灯的配光检测是在前照灯正前方25 m处放置一个配光屏幕,屏幕成垂直状态,然后检测屏幕上各点的照度值。常用的检测方法有灯具旋转法,屏幕逐点法检测法,CCD摄像法。目前大多数灯具厂家都采用灯具旋转法。

#### 4 前照灯的分类和几种新颖的设计

汽车前照灯可以分为投射式和反射式两种。投射式前照灯主要采用光学透镜,有出光口径小,配光均匀等优点。反射式前照灯从形状上可以分为抛物面型和自由曲面型两种。抛物面型由于存在遮光罩和配光镜,不符合车身的流线设计且光能利用率不高,而自由曲面型可以很好地克服这些问题,实际应用的较多。

表2 近光灯测试点和测试区域

点、区域	水平距离/ mm	垂直距离/ mm	照度/ lx
B50L	L1 500	U250	≤0.4
75L	L1 500	U250	≤12
50L	L1 500	D375	≤15
25L	L3 960	D750	≥2
50V	0	D375	≥6
75R	R500	D250	≥12
50R	R750	D375	≥12
25R	R3 960	D750	≥2
区域 I			≤2 E <sub>50R</sub>
区域 III			≤0.7
区域 IV			≥3

#### 4.1 投射式前照灯

投射式前照灯一般由光源、椭球面反射器、遮光板、光学透镜组成,如图10。光学透镜一般采用非球面透镜或自由曲面透镜。光源放在椭圆的第一焦点上,遮光板放在第二个焦点上,透镜的焦点和椭圆的第二个焦点重合。投射式前照灯的截止线由遮光板决定,所以可以形成完美的明暗截止线。因为遮光板遮住了一些光线,所以投射式前照灯的光能利用率有所下降。

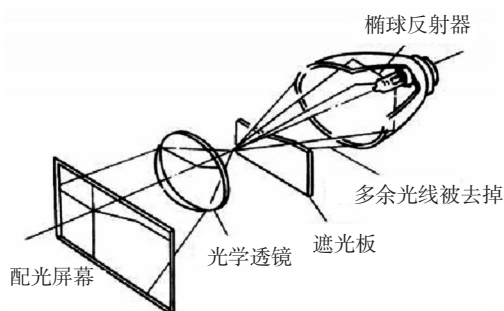


图10 投射式前照灯的原理图

#### 4.2 反射式前照灯

自由曲面前照灯是由光源、自由曲面反射器和圆滑的配光镜组成。该前照灯最大的特点是配光任务完全由自由曲面反射器来完成,配光镜表面没有花纹,只是作为前照灯的外部密封。现代汽车外型

的设计越来越趋近流线形设计,可以节省耗油量,所以车灯的设计空间越来越小。因为自由曲面前照灯的配光镜不需要承担配光任务,位置和形状上都具有较大的自由,所以更加符合车型的设计。另外自由曲面前照灯没有遮光罩,所以光能的利用率大大提高,为道路提供了更加安全的照明。自由曲面的缺点是难以形成清晰的明暗截止线,加工工艺复杂。

#### 4.3 几种新颖的前照灯的设计

用LED作为光源的前照灯是目前设计的热点,因为LED单颗的光通量较小,所以必须采用多颗LED光源才能达到配光要求。如图11<sup>[20]</sup>是朱向冰等设计的一款基于小功率LED的前照灯,采用了48个小功率的LED灯泡,可以同时实现近光和远光,近光时,开启14个0.5 W的LED和29个0.25 W的LED;远光时,开启15个0.5 W的LED和29个0.25 W的LED。这种前照灯的仿真结果很好地满足国家标准,具有成本低,光能利用率高等优点<sup>[21]</sup>。Aleksandra Cvetkovic等设计了一种利用导光管的混合式的前照灯<sup>[20]</sup>,这种前照灯是由一种基本的光学单元组成<sup>[21]</sup>,如图12a,该单元的前端是一块PCB,PCB上面有3片LED(每个LED的光通量是75 lm),将3片LED的发光面发出的光分别耦合到导光管的进光口,进光口与LED发光面之间用光学凝胶粘合。光线利用全反射原理通过导光管,与导光管出光口连接的是自由曲面透镜,光线通过自由曲面透镜后再经过自由曲面反射镜就投射到路面上了。自由曲面透镜和反射镜都是由SMS方法形成的。五个这样的基本单元就可以完成近光和远光的配光任务,如图12b,而且光能利用率大于75%,形成的明暗截止线清晰。Chuan-Cheng Hung等设计了一种很新颖的前照灯<sup>[22]</sup>,如图13,在前照灯中采用了DMD(digital micromirror device)芯片,DMD是由美国德州仪器公司于1987年发明,它基于半导体制造技术,由高速数字式光反射开关阵列组成,它在一个芯片上集成了大量的微镜,每一个微镜都可以独立高频的翻转在正反两个位置,每个微镜对应一个像素。微镜有两个翻转角度: $+12^\circ$ 和 $-12^\circ$ 。每个微镜相当于一个光开关,当光开关打开时,反射光通过投影透镜投射到屏幕上,像素处于亮态,当光开关关闭时,反射光不投射到屏幕上,像素处于暗态,通过二进制脉宽调制技术能精确控制每个像素的灰度等级。在这种新颖的前照灯

中,LED发出的光线先通过抛物线反射器形成平行光,平行光射向两块DMD上,此时DMD上的微镜有三种状态,一部分微镜处在 $+12^\circ$ ,还有一部分微镜处在 $-12^\circ$ ,剩下的微镜都处在 $0^\circ$ ,也就是关闭状态。处在 $+12^\circ$ 和 $-12^\circ$ 的微镜将光反射到自由曲面反射器上,然后投射到路面上;处于关闭状态的微镜将光线又反射回抛物线反射器上。通过控制DMD上微镜的三种状态就可以形成近光和远光。

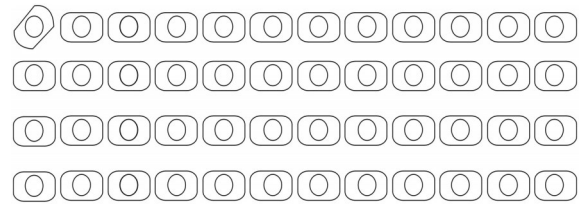


图11 基于小功率LED汽车前照灯结构图

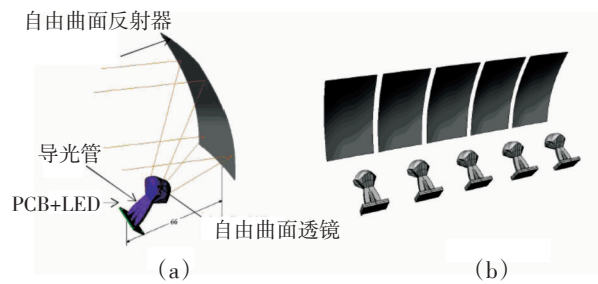


图12 利用导光管的混合式的前照灯

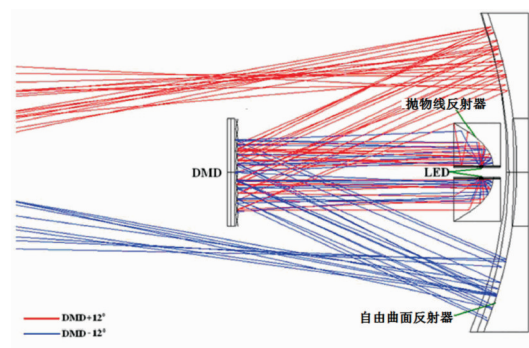


图13 基于DMD的前照灯

## 5 前照灯设计的一般步骤

前照灯的设计步骤一般有前照灯的类型和光源的选择、反射器的设计、挡光板和透镜的设计、光学建模和仿真四个步骤。

### 5.1 前照灯的类型和光源的选择

在设计之前,首先要选择前照灯是反射式还是

投射式。在确定了前照灯的类型后就要选择合适的光源,光源的选择首先要根据《GB4785-1998》和《GB4599-2007》两个法规选择合适的光色和光通量的光源。《GB4785-1998》规定了汽车前照灯的光色要为白色,也就是色温要在一定的范围之内(大约2300~4500 K)。《GB4599-2007》规定了不同光源远光和近光的光通量。有时单个光源达不到光通量标准,如LED光源就要采用多颗光源才能完成配光标准。在确定了合适的光源和数目后,要根据光源的光强曲线和发光面来确定光源放置的方式。例如LED光源的放置方式有发光面和出光方向垂直放置或平行放置两种。

## 5.2 反射器的设计

反射器的设计是整个前照灯设计最重要的环节。反射器的体积要尽量小,为引擎和散热提供空间。光源一般都是有一定的体积,不能看成点光源,如果简单将放射器设计成抛物面或椭球面形状,那么将光源放置在焦点上时,光线会产生离焦现象。因此在设计时常用类抛物面、类椭球面、或者自由曲面。总体的设计思路是将配光屏幕分为若干区域,每个区域对应着反射器的一块面积,每块面积控制一个区域的配光,调整反射器上每块面积对光线的控制,使反射到配光屏幕上的照度和光型符合国家的标准。

## 5.3 透镜和遮光板的设计

在投射式前照灯的设计时,往往需要用到透镜。透镜按功能可以分为均匀光束和控制光束两类。如果透镜的功能是均匀光束,避免离焦现象,那么在设计时只需要根据光源和反射器的体积计算出合适的焦距和厚度即可,一般为非球面透镜。如果透镜的功能是控制出射光线在屏幕上的光型和照度,那么设计跟反射器类似,也是将透镜分成若干块面积,每块面积控制配光屏幕上一个区域,反复调整面积对光线的控制使之在屏幕上形成的光型和照度符合国家标准,一般为自由曲面透镜。遮光板是放在近光灯反射器前用来形成明暗截止线的。遮光板的形状如图14,左侧是向下倾斜 $15^\circ$ 的斜线,右侧是直线。远光灯不需要遮光板。

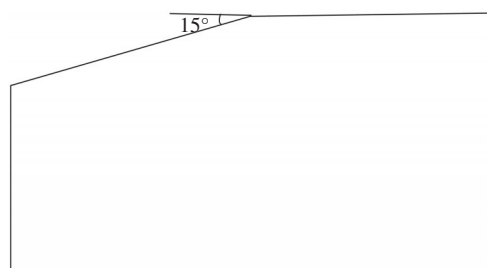


图14 遮光板的形状

## 5.4 光学建模和仿真

光学建模和仿真是将构思好的设计在软件中建立模型并进行光线追迹,是检验设计成功与否的重要环节。常用的建模软件有AutoCAD、Catia、Pro/E、Solidworks等;仿真软件有ASAP、TracePro、Lucidshape等。在选择好光源后,可以根据厂商提供的参数在软件中建立光源模型,进行光线追迹后还可得到光源的光强曲线。仿真软件还可以帮助确定设计中的最佳参数,例如光源在反射器中的位置,透镜的焦距和厚度等。通过对前照灯设计的仿真,可以得到配光屏幕上的照度图、光能利用率等数据,将这些数据与国家标准比较就可以判断设计是否合理。

## 6 自适应前照灯系统AFS

传统的汽车前照灯只有远光和近光两种模式。然而在夜间驾驶时,路面情况和天气不是一成不变的。那么在路面情况和天气变化时,传统的前照灯就不能做出相应的反应,有时还会造成视野的盲区或眩光,如汽车在转弯的时候,这不利于行车的安全。为了解决这种问题,自适应前照灯系统AFS(adaptive front-lighting system)应运而生了。AFS可以在水平和垂直方向上调节车灯,实现不同的模式。AFS有默认模式(C)、高速公路模式(E)、弯道模式(T)、城镇道路模式(V)、恶劣天气模式(W)五种不同的模式,可以根据路面情况和天气的变化改变配光方式,提高了驾驶的安全性和舒适性。现在很多高中档汽车的前照灯都装有默认模式和弯道模式,如奔驰,宝马等<sup>[23]</sup>。相信未来汽车前照灯的AFS会实现更多的模式。AFS主要有三种实现方案:动态AFS、静态LED点阵式的AFS系统、数字微镜AFS。

动态AFS在结构上主要由传感器组、传输通路、

处理单元、执行单元四部分组成,如图15。传感器组主要包括车速传感器、光敏传感器、车身高度传感器、方向盘转动角度传感器、风速传感器等;传输通路一般采用CAN总线的方式;处理单元的核心是单片机;执行单元一般包括步进电机和驱动电路<sup>[24]</sup>。AFS工作时,先由传感器组利用各种类型的传感器采集周围环境和天气的变化的信息,然后把信息通过传输通路传递给处理单元,处理单元经过对信息的分析、处理后发出指令,最后由执行单元中的电机转动车灯。该种方案的缺点是可以实现的模式较少。

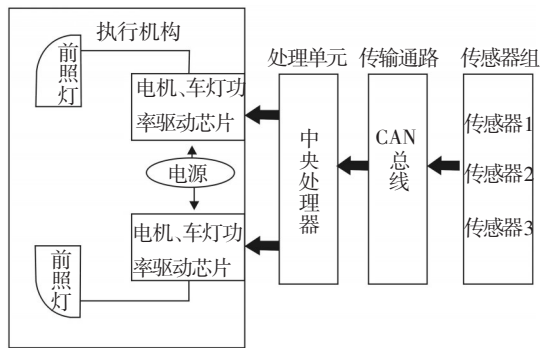


图15 AFS控制框图

静态LED点阵式的AFS系统的结构包括多个相互独立的LED光学单元,通过点亮不同的LED阵列并独立控制每个LED的亮度来实现输出不同的光型,如奥迪A8就配备了海拉公司的AFS系统。但是如果一个LED光学单元坏了,那么整个AFS系统就不能正常工作了。

AFS数字微镜系统主要是采用DMD芯片为核心,通过控制DMD上微镜的开关状态,可以精准控制目标屏幕上每一点的照度值,从而实现不同的配光任务,在前照灯中加上一个用来收集多余反射光的导光管,提高了光能的利用率<sup>[25]</sup>。

## 7 结 语

LED汽车前照灯和自适应前照灯系统(AFS)是未来车灯的发展趋势。近年来我国的车灯技术水平发展的很快,但是相对于国外还是有一段距离,车灯设计的核心技术被国外车灯企业垄断,虽然掌握了车灯设计的基本方法,但是自主创新能力还需要提高。我国车灯的标准和检测技术也需要不断的改进。

## 参考文献

- [1] 朱维涛,陈祥熙.汽车灯具设计原理与方法[J]. 光学仪器, 2002(6):35-41.
- [2] 燕坤善,牛萍娟,付贤松,等.汽车前照灯光源及发展趋势[J]. 光机电信息,2008(11):36-40.
- [3] B KANG, B YONG, K PARK. Performance evaluations of LED headlamps[C]// SPIE, 2010, 11(5):737-742.
- [4] M SIVAK, B SCHOETTLE, MJ FLANNAGAN. LED headlamps: glare, colour rendering[C]//SPIE, 2004, 36(4): 295-305.
- [5] 余桂英,陈晓丽,姚帅,等.投射式LED汽车前照灯的光学设计[J]. 中国计量学院学报,2008(1):73-77.
- [6] 朱晓东.大功率白光LED在汽车前照灯设计中的应用研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2007.
- [7] MA Chi-tang, CHOU Kao-hsu, CHEN Yi-yung, et al. Design and optimization of automotive headlamps based on projection system with double ellipsoidal reflector[C]. SPIE, 2010, 7717:77170M-1.
- [8] 高铁成,艾艳锦,黄椿维,等.多椭圆投射式LED前照灯光学设计[J]. 光学技术, S1, 32-33+37.
- [9] H RIES. Tailored freeform optical surfaces [J]. Opt. Soc. Am. A, 2002, 19:590-595.
- [10] P Benítez, J C Miñano, J Blen, et al, Simultaneous multiple surface optical design method in three dimensions [J]. Opt. Eng, 2004, 43, 1489-1502.
- [11] T Heßling, U Geyer, A Hellwig, et al. Free-form glass reflectors for non-trivial illumination applications with extended sources[C]//SPIE, 2012, 8485:84850G-1.
- [12] 邓亮,朱维涛,陈祥熙.带配光镜汽车灯具仿真设计[J]. 光学仪器, 2004(4):21-25.
- [13] 肖文德,黄新堂,刘武.非球面透镜成像研究及计算机设计[J]. 山西大学学报, 2000, 23: 40-42.
- [14] CHEN Fei, WANG Kai, QIN Zong, et al. Design method of high-efficient LED headlamps lens[J]. Opt.Express, 2010, 18:20926-20938.
- [15] 王洪,吴衡,黄华茂,等. LED汽车近光灯光学透镜[S]. 中国, 202511191 U[P]. 2012-10-31.
- [16] SUN Li-wei, JIN Shang-zhong, CEN Song-yuan. Free-form microlens for illumination applications [J]. Applied Optics, 2009, 48(29): 5520-5527.
- [17] A Domhardt, U Rohlfing, S Weingaertner. New design tools for LED headlamps[C]//SPIE, 2008, 7003:70032C.
- [18] 刘俊杰,周秀芝,闫鹏,等.汽车前照灯的配光与检测[J]. 汽车实用技术, 2012, 11:28-33.



- [2] 薛慧. 红外搜索与跟踪系统中光学系统的设计[J]. 光学学报, 2010, 0253-2239(2010)08-2 383-04.
- [3] 陈津津, 赵劲松. 一种紧凑型折射式红外搜索/跟踪光学系统设计[J]. 红外技术, 2008, 30(5): 279-282.
- [4] 刘峰. 折/衍射混合红外目标搜索/跟踪光学系统设计[J]. 光学学报, 2010, 0253-2239 (2010)07-2084-05.
- [5] 史光辉. 含有三个非球面的卡塞格林系统光学设计[J]. 光学学报, 1998, 18(2): 238-241.
- [6] 潘君骅. 光学非球面的设计、加工与检验[M]. 苏州: 苏州大学出版社, 2004.
- [7] 潘君骅. 大口径红外成像系统的光学设计[J]. 光学学报, 2003, 23(12): 1475-1478.
- [8] 樊学武, 马臻, 陈荣利. 红外双波段卡塞格林光学系统设计[J]. 光子学报, 2003, 32(4): 463-465.
- [9] Warren J Smith. Modern Optical Engineering [M]. The McGraw-Hill Companies, Inc, 1996.
- [10] 王海涛, 耿安兵. 一体化红外双波段成像光学系统[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(3): 489-492.

(上接第17页)

### 3 结束语

综上所述, 为了有效地对抗愈发先进的红外制导导弹, 未来要求红外诱饵弹能更加逼真地模拟目标特性。因此红外诱饵技术的发展及战术使用趋势是从单一体制→“cocktail”→多种体制复合的发展及使用模式。同时未来红外诱饵在组分和结构的设计方面将变得更加复杂, 对红外诱饵的发展提出三点展望: (1) 工作波段多光谱化。多光谱探测技术、多波段制导技术的广泛应用极大提高了武器系统的作战性能和抗干扰能力, 因此必须提高红外诱饵的多光谱信息融合; (2) 投放装备的小型化、功能操作简单化。从美军装备来看, 其对体积要求较为苛刻, 因此必须突出投放装备小型化, 以适应各种复杂的战场环境; (3) 对抗功能多层次化。随着光电技术发展, 全方位的侦测技术已逐步形成, 因此对抗手段的多层次、多手段化也成为发展的趋势。

### 参考文献

- [1] 贾明永, 董德新, 陈勇. 多元双色红外导引头抗干扰技术研究[J]. 航空兵器, 2006(3): 19-22.
- [2] 赵非玉, 卢山, 蒋冲. 面源红外诱饵仿真建模方法研究[J]. 光电技术应用, 2012, 27(2): 66-69.
- [3] Spectrum balanced infrared flares pyrotechnic composition [P]. U.S. Patents, 5472533. 1995.
- [4] Infrared decoy flare composition [P]. U.S. Patents, 20070251 617. 2007.
- [5] Koch E C. Pyrotechnic countermeasures: Advanced aerial infrared countermeasures [J]. Propellants Explosives Pyrotechnics, 2006, 31(1): 3-19.
- [6] 赵非玉, 马春孝, 卢山. 机载红外诱饵技术的发展 [J]. 舰船电子工程, 2012(3): 20-22.
- [7] Decoy flare [P]. U.S. Patents, 5400712. 1999.
- [8] Propelled pyrotechnic decoy [P]. U.S. Patents, 5561260. 1996.
- [9] Nozzles for pyrophoric IR decoy [P]. U.S. Patents, 5866840. 1999.
- [10] Towed decoy system [P]. U.S. Patents, 4718320. 1988.
- [11] Electronically configurable towed decoy for dispensing infrared emitting flares [P]. U.S. Patents, 6055909. 2000.
- [12] Exothermically formed aluminide coating [P]. U.S. Patents, 5866840. 1999. 5102700. 1992.
- [13] Aqueous masking solution for metal treatment [P]. U.S. Patent 5262466. 1995.
- [14] Pyrophoric materials and method for making the same [P]. U.S. Patent 5464699. 1995.

(上接第30页)

- [19] GB4599—2007 汽车前照灯配光性能[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [20] 朱骞, 朱向冰. 采用小功率LED的汽车前照灯光学设计[J]. 光学技术, 2012(4): 427-430.
- [21] Aleksandra Cvetkovic, Oliver Dross, Julio Chaves, et al. Etendue-preserving mixing and projection optics for high-luminance LEDs, applied to automotive headlamps [J]. Opt. Express, 2006, 14: 13014-13020.
- [22] Hung CC, Fang YC, Huang MS, et al. Optical design of automotive headlight system incorporating digital micromirror device [J]. Applied Optics, 2010, 49(22): 4182-4187.
- [23] 俞培锋. 世界汽车灯具及灯光技术研究[J]. 汽车工程师, 2012(6): 22-26+51.
- [24] 方英兰, 朱向冰. 自适应前照灯的功能及实现[J]. 中国照明电器, 2010(7): 11-16.
- [25] 武汉, 朱向冰, 朱骞, 等. 王程. 基于数字微镜元件的自适应前照灯光学设计[J]. 红外与激光工程, 2013(4).