



车灯自由曲面的配光设计

孙天锡¹, 王亚军^{1,2}, 罗秉东¹, 宋宁亮¹

(1. 厦门大学电子科学系, 福建省半导体照明工程技术研究中心, 福建 厦门 361005; 2. 厦门爱的科技有限公司, 福建 厦门 361009)

摘要: 随着现代汽车车灯设计的发展, 传统的车灯配光镜由于其设计繁琐, 光能利用率较低, 且影响汽车美观等缺点, 现已逐渐被自由曲面的车灯产品所替代。从汽车前照近光灯国标 GB4599-2007 出发, 在已知光源属性的前提下, 利用 RefCAD 和 LightTools 设计了一款适用于 H7 卤素灯的自由曲面反射器, 经过对各测试点、区域的照度值的分析, 较好地符合了 GB4599-2007 对近光的要求。该方法能够大大缩短车灯设计周期, 为未来大功率 LED 用于车灯设计提供参考。

关键词: 自由曲面; 近光灯; 配光; LightTools

中图分类号: TN141.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255-(2012)02-0001-04

Light Distribution Design of Automobile Freeform Headlamp Reflector

SUN Tian-xi¹, WANG Ya-jun^{1,2}, LUO Bing-dong¹, SONG Ning-liang¹

(1. Fujian Engineering Research Center for Solid-State Lighting, Department of Electronic Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Xiamen Edi Technologies Co., Ltd., Xiamen 361009 China)

Abstract: With the development of the modern automotive headlight, the traditional lens headlamp is now gradually being eliminated, because the design is complicated, inefficiency and the impact of the automotive appearance. The freeform reflector becomes the predominant designation. Based on the GB4599-2007 regulation, on this premise of getting the light source properties, a freeform reflector for H7 halogen is designed using RefCAD and LightTools. After analysis of the illumination values for each test point and region, the results show that the illumination distributions meet requirements of GB4599-2007 regulation for dipped headlight. The method can greatly shorten the headlight design cycle and provide a reference for powerful LED used in headlamp design.

Key words: freeform reflector; dipped headlight; light distribution; LightTools

前照灯是汽车夜间行车的关键部件, 它的设计制造是光学、材料学、计算机辅助设计技术、模具 CAD/CAM 技术及特种工程塑料加工技术的集成^[1]。随着汽车工业技术的发展, 车灯的设计已不仅仅是为了满足照明需求, 人们也开始重视其美学效果, 因此, 自由曲面前照灯已渐渐地取代了纹饰面器配光的老式灯。

自由曲面反射器, 从字面上理解, 是将反射面分割成许多不规则形状小反射面, 每个小曲面具有不

连续的曲率, 并贡献配光光型中的一部分, 把所有小曲面反射的光型叠加在一起即可达到最终的配光光型。由于自由曲面反射器无法用数学方程来描述, 因此, 利用灯丝映像法思想, 合理地对反射基础面进行划分和调整, 并最终得到符合国标要求的配光光型。

1 确定光源和基础曲面

1.1 光源

收稿日期: 2012-02-26

基金项目: 福建省重大科技项目(2006H0092)

作者简介: 孙天锡(1984-), 男, 福建南安人, 硕士研究生, 主要从事新能源、半导体照明方面的研究; 导师简介: 王亚军(1969-), 男, 浙江慈溪人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事新能源、半导体照明方面的研究。

在我国,汽车多采用H4、H1、H7灯泡,摩托车多采用HS1、S1和S2灯泡。其中,H7卤素灯已成为汽车照明系统中应用较广的灯型,宝马X7、奥迪Q5使用的都是灯头型号为PX26d的H7卤素灯泡。这种灯泡的主要优点是发光密度高,灯丝公差精确,其额定功率是55 W,额定光通量为1 500 lm,灯丝长度为4.1 mm,灯丝距灯座基准面距离为25 mm。文中以H7灯为光源来设计自由曲面反射器,其CAD外形和光强远场分布如图1所示。

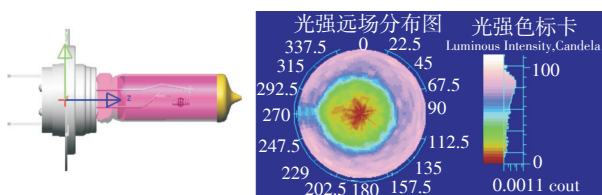


图1 H7卤素灯外形和光强远场分布

1.2 基础面

为了提高光能的利用效率,基础反射面采用旋转抛物面,将H7型灯丝中心置于抛物面的焦点 F 上,灯丝的轴线与抛物面的轴线一致,如图2所示。

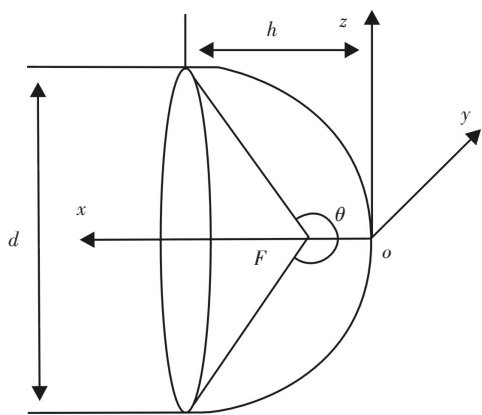


图2 抛物面几何示意图

若要将H7灯灯丝中心置于旋转抛物面的焦点,整个车灯系统的焦距应为 $f = 25 + \frac{4.1}{2} = 27.05$ mm。图2中旋转抛物面方程为 $y^2 + z^2 = 4fx$, d 和 θ 分别为反射镜的开口直径和抱角, h 为反射镜的深度,则

$$d = 2\sqrt{y^2 + z^2} = 4\sqrt{fh} \quad (1)$$

$$\tan \frac{\theta}{2} = -\frac{d}{2(h-f)} \quad (2)$$

当反射镜的抱角 θ 为 220° 时,光能的利用最高,且不至于使反射镜的加工制造过于困难^[2,3],由式(1)、式(2)可得到反射镜的直径

$$d = 5.71f = 5.71 \times 27.05 = 154.46 \text{ mm} \quad (3)$$

2 自由曲面分块设计

2.1 法规介绍

国际上,汽车照明和信号装置的配光性能标准有两种类型。一种是以美日为代表的SAE及JIS标准,另一种是以欧洲经济委员会为代表的ECE法规,其主要的要求是,在车辆行进间,前照灯必须要有足够的亮度,而且不能产生眩光。我国的道路条件情况接近于欧洲,因此我国的前照灯配光标准(GB4599-2007)是参照ECE法规制定的。

对近光灯来说,在25 m外接收屏上应该要有明显的明暗截止线,V-V线左侧应为水平直线,右侧为与水平线向上成 15° 的斜线HV-H₃,或与水平线向上成 45° 斜线至水平线垂直距25 cm处转向水平的折线HV-H₁-H₄,如图3所示。

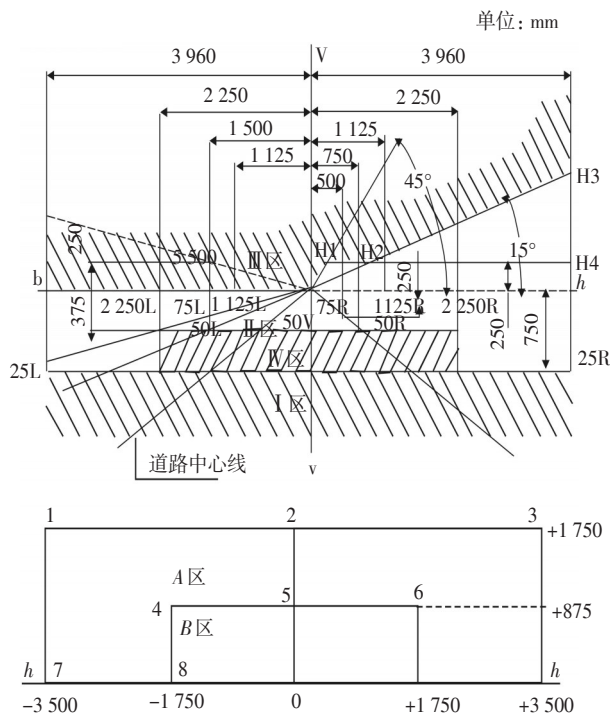


图3 国标近光灯配光屏

配光屏上各点和区域的照度值应该满足表1的规定。

2.2 基础面的分块思想

根据上述得到的旋转抛物面数据在RefCAD中

表1 近光配光测试点、区域照度要求^[4]

点、线段、区域	标准照度/lx
B50L	≤0.4
75R	≥12
75L	≤12
50R	≥12
50L	≤15
50V	≥6
25L	≥2
25R	≥2
I 区任何点	≤2E _{50R}
Ⅲ区任何点	≤0.7
Ⅳ区任何点	≥3
点1、2、3	点1+2+3≥0.3
点4、5、6	点4+5+6≥0.6
点7	0.7≥测试点≥0.1
点8	0.7≥测试点≥0.2

设置基础面二次曲线常数、外形尺寸和曲率半径等参数,并对基础面进行分块操作,分块把握的原则是:

- (1)合理地进行分块,保证产生清晰的明暗截止线;
- (2)接收屏上测试点和测试区的照度值满足国标规定,且整体光型照度均匀;
- (3)分块尽量少,并尽量减小块与块之间的阶差,便于制造加工。

为了获取清晰的明暗截止线,必须使照度值在截止线两侧有较大的梯度,梯度越大,截止线则越清晰。为此,需要将部分反射块的反射光斑调成明亮的细长条,平行并放置于截止线下,加大照度的梯度值。另外,各细长条的照度、高度和分布要均匀一致,避免个别块的反射光斑过于突出,使截止线不直或明暗截止程度不一致^[5,6,7]。根据国标的要求,文中将基础面划分为上、中、下3个区域共16个子块,中间区域主要用来产生水平和15°截止线;远离光轴部分为光线集中区,用来加强明暗截止线和75R,50R和50V等各点的照度值;靠近光轴部分为光线发散区,用来控制接收屏的整体光型,使光照度平缓过渡,不出现陡变。除此之外,在调整各子块光型的过程中,要注意克服杂散光的影响,尽量降低水平截止线以上的照

度,以免产生眩目光线。自由曲面的分块和三维模型如图4所示。

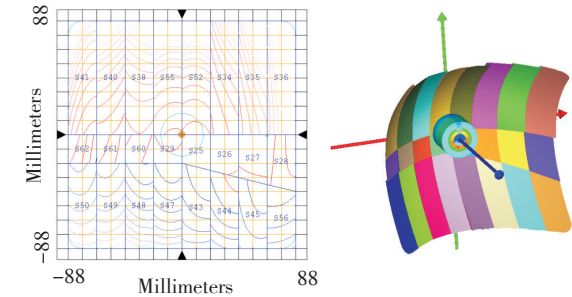


图4 自由曲面的分块和三维模型

3 光学仿真

将设计好的自由曲面以IGES的格式输出^[8],并导入到LightTools中进行光线追迹。由于导入的模型只具有几何属性^[9,10],因此还要在软件中设置其材料及光学属性。定义反射器的材质为PMMA,表面的光学属性为光学镜面,反射率为85%,并调用软件自带的光源库加载H7光源进行仿真。图5为H7光源和导入的自由曲面的光线追迹图。

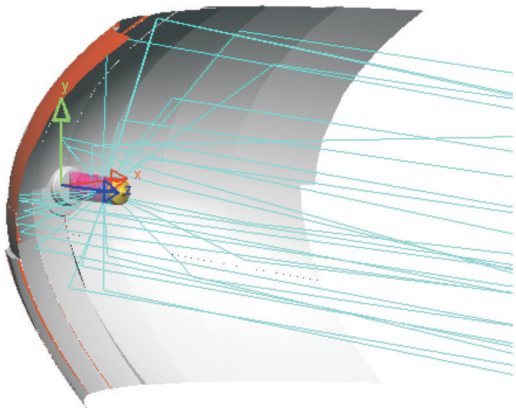


图5 H7光源和自由曲面的光线追迹

根据仿真的结果检查测试点是否符合国标规定,对不符合照度要求的测试点,在RefCAD重新调整子块,再导入LightTools中模拟,直至得到符合要求的照度值。为了使光线追迹更接近于真实情况,让仿真的结果更具有说服力,将模拟光源定义为光机一体化的模型,并充分考虑了灯丝的光源特性和灯具的材质等因素。仿真前,在光源正前方25 m处设置接收面,接收面的的面元为100×100,追迹光线

为 1×10^7 条,耗时3 h后接收屏上的照度分布如图6所示,水平和 15° 截止线十分清晰,且整体光型无明显

陡变的情况。表2列出各测试点及测试区域的照度值,能够较好地符合国标规定。

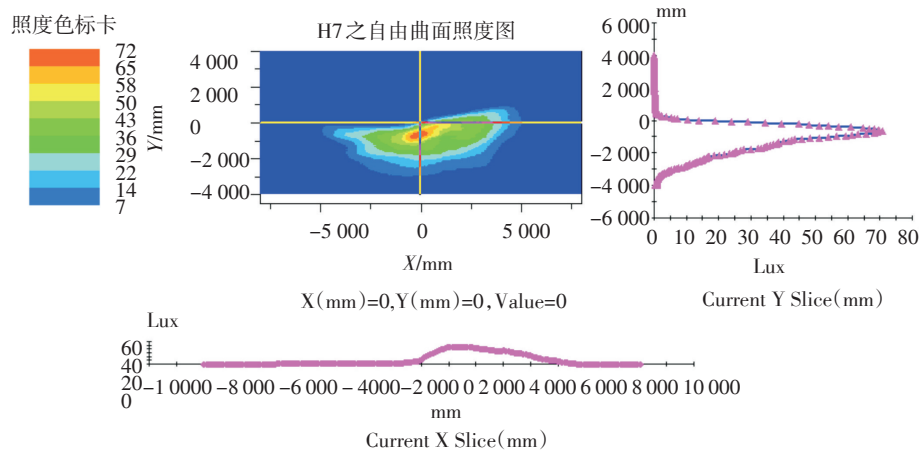


图6 接收屏照度分布图

表2 近光配光国标要求及仿真结果

点、区域	标准照度/lx	模拟结果/lx	状态
B50L	≤ 0.4	0.32	达标
75R	≥ 12	56.77	达标
75L	≤ 12	7.21	达标
50R	≥ 12	54.06	达标
50L	≤ 15	13.19	达标
50V	≥ 6	57.23	达标
25L	≥ 2	19.36	达标
25R	≥ 2	17.45	达标
I区任何点	$\leq 2E_{\text{SOR}}$	≤ 68.19	达标
III区任何点	≤ 0.7	≤ 0.65	达标
IV区任何点	≥ 3	≥ 22.68	达标
点1、2、3	点1+2+3 ≥ 0.3	0.42	达标
点4、5、6	点4+5+6 ≥ 0.6	1.04	达标
点7	0.7 \geq 点7 ≥ 0.1	0.51	达标
点8	0.7 \geq 点8 ≥ 0.2	0.59	达标

4 结 论

在已知光源特性的前提下,利用RefCAD构造出适合H7光分布的自由曲面反射器用于汽车的近光灯,重点介绍了自由曲面基础面参数计算和分块思想,并利用LightTools软件的光线追迹和良好界面进

行仿真模拟,仿真的结果较好地满足GB4599-2007对近光灯的配光要求,大大地缩短了车灯设计的周期。除此之外,该方法也可以为未来大功率LED应用于车灯设计提供一个借鉴的方法。

参考文献

- [1] 蒋金波,杜雪,李荣彬.汽车照明系统的设计及超精密自由曲面加工技术[J]. 照明工程学报,2008,19(3):46-52.
- [2] 谭晶,孙胜,赵振铎.汽车前照灯反光镜拉深毛坯形状优化设计[J]. 山东大学学报,2002,32(3):246-249.
- [3] 黄佐贤.现代汽车灯具[M]. 北京:长虹出版公司,2003.
- [4] 中国国家标准化管理委员会.汽车用灯丝灯泡前照灯GB4599-2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
- [5] Kong L B, Cheung C F, Jiang J B, et al. Characterization of freeform optics in automotive lighting systems using an Optical-Geometrical Feature Base Method[J]. Optik, 2011, 122(4):358-363.
- [6] 杨良.汽车前照灯反射器自由曲面的设计步骤和技巧[J]. 照明工程学报,2001,12(4):13-15.
- [7] 胡尚斌,高爱华,何小庆,等.自由曲面前照灯的近光配光设计[J]. 灯与照明,2011,35(1):1-5.
- [8] Yang B, Wang Y T. Efficient ray-tracing for free-form reflectors[J]. Optik, 2009, 120(1):40-44.
- [9] 陈益民,聂蓉,黄杰.汽车前照灯用LED光源的光学设计[J].应用光学,2010,31(3):390-394.
- [10] 苏胜君,施伟斌,陈祥熙.汽车灯具光源建模和照明仿真计算[J]. 光学仪器,2008,30(4):14-17.