

· 光学设计与制造 ·

反射罩光学设计与均匀性仿真

朱小芳¹, 李红波^{1,2}, 薛永胜^{1,2}, 祁永庆^{1,2}

(1. 上海空间电源研究所, 上海 200233; 2. 上海太阳能工程技术研究中心有限公司, 上海 200241)

摘要:运用非成像光学的光学扩展量理论,根据反射罩曲面上一定区域内入射光通量分布比例与反射光通量分布比例对等的原则,确定每一条入射光线所对应的反射光线方向,求出所需反射罩的形状.根据光源的配光曲线、辐照面积、辐照强度和辐照不均匀性等要求,进行大面积太阳模拟器的反射罩设计,并运用 TracePro 软件对所设计的系统进行光线追迹仿真.结果表明,运用这种方法设计反射罩曲面,大大缩短设计时间,提高了效率,并且所设计的曲面能较好地符合设计要求.

关键词:反射罩;非成像光学;光线追迹

中图分类号: TN202

文献标识码: A

文章编号: 1673 - 1255(2010)06 - 0018 - 04

Optical Design and Uniform Simulation of Reflector

ZHU Xiao-fang¹, LI Hong-bo^{1,2}, XUE Yong-sheng^{1,2}, QI Yong-qi^{1,2}

(1. Shanghai Space Electrical Power Institute, Shanghai 200233, China;

2. ShangHai Solar Energy Engineering Technology Study Center Corporation Limited, Shanghai 200241, China)

Abstract: Using the extending non-imaging optics theory and based on the principle of equalization of the distribution ratio of the luminous flux of incident rays to reflective ones in certain area of the surface, the direction of the corresponding reflective ray to each incident ray is ascertained. Then the shape of reflector can be attained easily. According to the emission characteristics of light, area, irradiance and uniformity to design the reflector, then TracePro can be used to simulate the design. The results show that using this method to design the reflector can reduce the time and improve the efficiency. And the design can meet the requirements well.

Key words: reflector, non-imaging optics; ray tracing

在大多数情况下直接应用普通光源很难满足所辐照的技术指标,根据辐照面积和辐照均匀性等要求,对光源进行二次光学设计是非常有必要的,例如进行反射罩设计.常用的反射罩曲面大都是有焦曲线,如抛物线、椭圆等曲线的回转体^[1],普遍应用于要求较低的场合;对于辐照均匀性要求较高的反射罩,也可以通过求解偏微分方程组求解自由曲面^[2,3],但求解偏微分方程组比较繁琐,工作量比较大,常用于辐照面积较小的场合.

辐照均匀性是太阳模拟器的主要技术指标之一,小面积太阳模拟器常使用光学积分器来达到均

匀光的效果^[4].由于辐照面积和热量问题,在大面积太阳模拟器中添加光学积分器不太现实,为了有效地利用光源发出的光通量,使辐照面上获得符合要求的照度,必须合理设计反射罩的形状.

非成像光学^[5]从光源的发光特性和目标面所要求的光强分布出发,以能量利用率为设计指标,重点考虑能量传输的匹配问题,因而在解决光能收集和照明设计等方面比成像光学理论更有效.根据光强空间分布特性和辐照面上的照度等,采用基于蒙特卡罗法的光线追迹软件来设计反射罩曲面,能大大缩短反射罩曲面的设计时间,提高效率,并且所设

收稿日期:2010-10-25

基金项目:上海市科学技术委员会科研项目(09dz2210700)

作者简介:朱小芳(1986-),女,上海人,硕士研究生,主要研究方向为光学设计.

计的反射罩曲面能较好地符合所需的设计要求。

1 反射罩光学设计

1.1 确定反射罩的光强分布

设光源的入射光线角范围为 $[-\theta_m, \theta_m]$, ($\theta_m \leq 180^\circ$), 根据对称光源的光强分布特性, 取 $[0, \theta_m]$, 如图 1 所示。

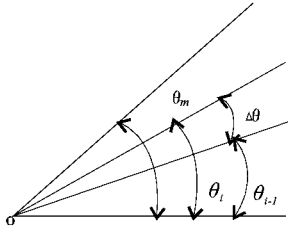


图 1 入射光的角度范围

把入射光线角 θ_m 分为 k 个均等的球带域 $\Delta\theta$, 则在 $\Delta\theta = \theta_i - \theta_{i-1}$ 带域内的光通量^[1]为

$$\phi_{\theta_i - \theta_{i-1}} = \int_{\theta_{i-1}}^{\theta_i} I_\theta 2\pi \sin\theta d\theta = 2\pi I_\theta (\cos\theta_{i-1} - \cos\theta_i) \quad (1)$$

式中, I_θ 为光源发出的在 $\Delta\theta$ 内光强的平均值, 取 $I_\theta = (I_{\theta_i} + I_{\theta_{i-1}})/2$; I_{θ_i} 为光源在 θ_i 方向上的光强值^[6]

$$I_{\theta_i} = \phi_0 f(\theta_i) \quad (2)$$

式中, ϕ_0 为光源的光通量, $f(\theta_i)$ 为光源的光强分布系数。因为 $f(\theta_i)$ 往往很难得到其函数表达式, 有时即使得到了函数表达式, 也很难求其积分, 所以在求光通量的时候, 比较实用的方法是化成求和的形式。把式(2)代入式(1)中, 得到 $\Delta\theta$ 带域内的光通量为

$$\phi_{\theta_i - \theta_{i-1}} = \pi \cdot \phi_0 \cdot (f(\theta_{i-1}) + f(\theta_i)) \cdot (\cos\theta_{i-1} - \cos\theta_i) \quad (3)$$

光源发出的在灯具曲面内的总光通量 ϕ_d 等于各带域内光通量之和。

$$\phi_d = \sum_{i=1}^k \phi_{\theta_i - \theta_{i-1}} \quad (4)$$

从而计算出入射光线角为 θ_i 内的入射光通量 $\phi(\theta_i)$ 所占的百分比 $\lambda(\theta_i)$ 为

$$\lambda(\theta_i) = \frac{\phi_{\theta_i - \theta_{i-1}}}{\phi_d} = \sum_{i=1}^k \pi \cdot \phi_0 \cdot (f(\theta_{i-1}) + f(\theta_i)) \cdot (\cos\theta_{i-1} - \cos\theta_i) \quad (5)$$

$$\lambda(\theta_i) = \phi(\theta_i) / \phi_d \quad (6)$$

光源经过反射罩的反射后, 若所有的输出光通

量 ϕ_1 都在位于 $[-\beta_m, \beta_m]$, 则反射罩将具有最高效率^[7]。根据辐照面的光照要求, 光束角为 $2\beta_m$, 如图 2 所示。

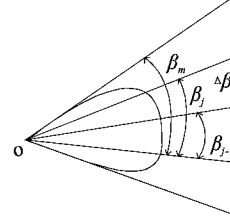


图 2 反射光的角度范围

同样把 $0 \sim \beta_m$ 分成均等的 m 个带域 $\Delta\beta$, 则 $\Delta\beta$ 区域内既有直射光通量, 又有反射光通量。反射罩产生的光强等于反射罩的光强减去光源直接出射部分^[7], 即

$$I_r\beta = I_\beta - I_d\beta \quad (7)$$

根据式(1)和式(4)反射的光通量总和 ϕ_r 为

$$\phi_r = \sum_{j=1}^m \pi \cdot (I_{r\beta_{j-1}} + I_{r\beta_j}) \cdot (\cos\beta_{j-1} - \cos\beta_j) \quad (8)$$

从而计算出反射光线角为 β_j 内的反射光通量 $\phi(\beta_j)$ 所占的百分比 $\lambda(\beta_j)$ 为

$$\lambda(\beta_j) = \frac{\phi_{\beta_j - \beta_{j-1}}}{\phi_r} = \sum_{j=1}^m \pi \cdot (I_{r\beta_{j-1}} + I_{r\beta_j}) \cdot (\cos\beta_{j-1} - \cos\beta_j) \quad (9)$$

$$\lambda(\beta_j) = \phi(\beta_j) / \phi_r \quad (10)$$

1.2 反射曲线的生成

根据上述求得 $\lambda(\theta_i)$ 和 $\lambda(\beta_j)$, 以光通量百分比 λ 为纵坐标, 分别以入射光线角 θ 和反射光线角 β 为横坐标, 得到 $\theta - \lambda$ 和 $\beta - \lambda$ 两条曲线, 如图 3 所示。按照光通量百分比对等原则, 用四点细分插值法^[8]求出当光通量百分比为某一定值时, 所分别对应的入射光线角 θ_k 和反射光线角 β_k 。

得知 θ 和 β 的离散关系后, 由图 4 可知 $\tan \frac{\theta - \beta}{2} =$

$\frac{dr}{r d\theta}$, 两边积分得 $\ln \frac{r}{r_0} = \int \tan \frac{\theta - \beta}{2} d\theta$, 式中, r_0 为光源灯丝中心在反射罩中的位置(光轴上)。

利用插值法计算入射光线角为 θ 时, 入射光线的长度 r , 即光源灯丝中到入射光线和反射罩曲线的点的距离, 由于 θ 和 β 是离散点的一一对应关系, 因此可通过数值积分求得 $r(\theta_i)$, 然后就可利用四点细分插值法在 $[-\theta_m, \theta_m]$ 获得反射罩的曲线。

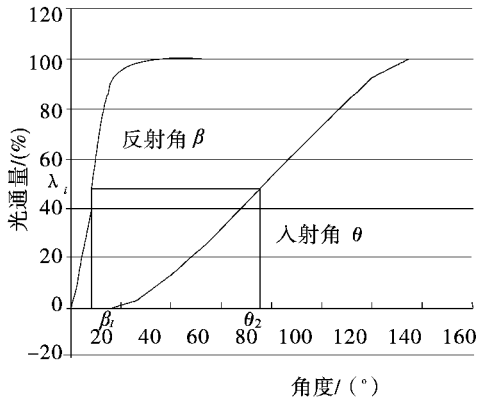


图 3 光通量分布图

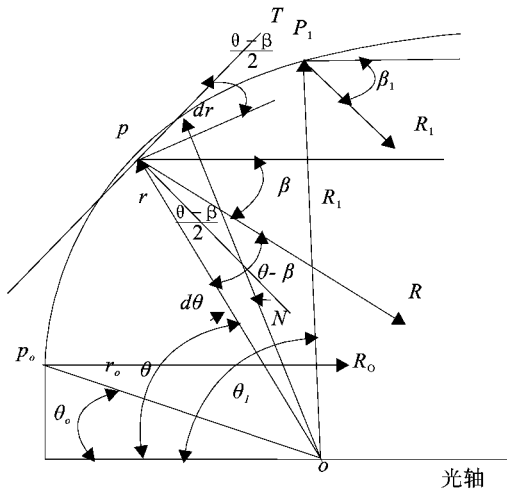


图 4 反射罩曲线的求解

2 反射罩模拟仿真

太阳模拟器采用具有轴对称性且接近太阳光谱的氙灯作为光源,辐照面积要达到为 $1.6\text{ m} \times 1.6\text{ m}$,辐照均匀性要求在 $\pm 5\%$ 以内. OSRAM 公司某型号球形氙灯的配光曲线如图 5 所示,光通量为 127 700 lumens,入射角的范围为 $0^\circ \sim 135^\circ$. 根据配光曲线,计算出每一个入射角内光通量的百分比.

假设所有的光线被反射,没有直通的,计算反射光通量百分比. 根据光通量百分比对等原则,算出 θ

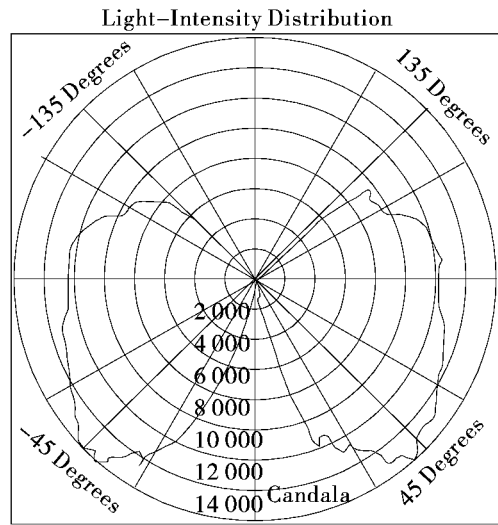
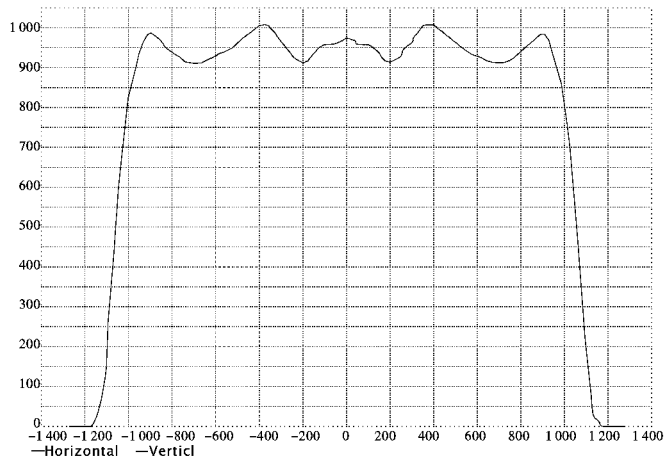
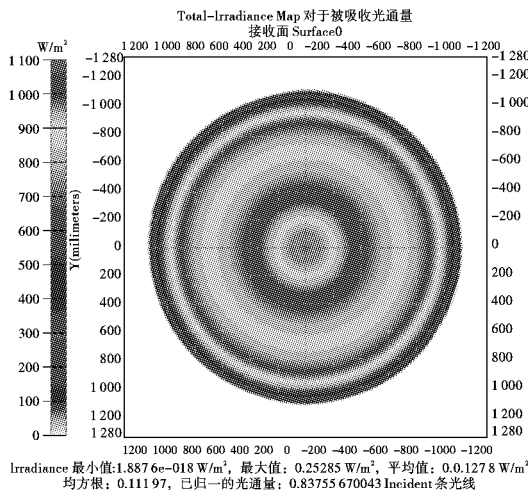


图 5 配光曲线

表 1 $\theta-r$ 关系

入射角 θ / ($^\circ$)	35.9	44.8	55.0	67.5	77.0	86.5	97.1	106.3	117.8	135
r/r_0	1.159	1.246	1.395	1.548	1.747	2.046	2.396	3.007	4.390	4.946



Irradiance 最小值: $1.8876 \times 10^{-18}\text{ W/m}^2$, 最大值: 0.25285 W/m^2 , 平均值: 0.01278 W/m^2
均方根: 0.11197 , 已归一的光通量: 0.83755670043 Incident 条光线

图 6 仿真结果

与 β 的离散点关系,进而算出 θ 和 r 离散点关系,计算结果如表1所示.

根据计算结果,利用 Tracepro 进行光线追踪,仿真结果如图6所示.在辐照距离为7 m,辐照面积为 $\phi 1\ 800\ \text{mm}$ 下,反射罩的能量利用率为84%,辐照均匀性为 $\pm 5\%$,符合设计要求.

3 结 论

根据非成像光学中的光学扩展量守恒理论,对反射罩的设计进行理论推导.在大面积太阳模拟器反射罩的设计中,运用数值积分法和 TracePro 软件对氙灯和反射罩模型进行光线追迹模拟,仿真结果表明,该反射罩能够满足大面积太阳模拟器辐照面均匀性的设计要求.

参考文献

[1] 周建忠.灯具曲面设计中的光线追迹法[J].江苏理工

大学学报,1997,18(2):28-32

- [2] 丁毅,顾培夫.实现均匀照明的自由曲面反射器[J].光学学报,2007,27(3):540-544
- [3] 吴乃茂,屠大维,黄志华,等.LED照明系统的光照均匀性设计[J].光学技术,2009,35(1):74-76
- [4] 张国玉,吕文华,贺晓雷,等.太阳模拟器辐照均匀性分析[J].中国光学与应用光学,2009,2(1):41-45
- [5] Roland Winston, Harald Ries. Nonimaging reflectors as functional of the desired irradiance[J]. J. Opt. Soc. Am., 1993,10(9):1902-1908
- [6] 周建忠,朱金山.灯具曲面光学性能的计算机仿真研究[J].江苏理工大学学报,1995,16(1):18-24
- [7] 林燕丹译.参照光源尺寸进行旋转对称反射器设计的一种综合方法[J].中国照明电器,2000,9:28-30
- [8] Nira Dyn, Daid Levin. A 4-point Interpolatory Subdivision Scheme for Curve Design[J]. Computer Aided Geometric Design, 1987, (4):257-268

(上接第10页)

隶属度 S_i .表1计算了8个待测目标各自的总隶属度 $\text{Sum}_{\text{unknown}}$.从表1中可以看出,舰船(a)的总隶属度最大,干扰(a)、干扰(b)的总隶属度较小.设定阈值 $T1=130$,就可以区分舰船目标和海岛.然后根据表2对各姿态的隶属度对舰船姿态进行判断,可以看出:

干扰(a)、干扰(b)为干扰物,它们的每个隶属度都较小,其隶属度的和也较小,因此被判断为干扰物.

舰船(a)姿态1的隶属度最大,其余较小,所以判断舰船(a)的航行姿态为向左侧航行.同理,舰船(b)、舰船(e)判断为向右侧航行,舰船(c)、舰船(f)判断为面朝或者背向观测位置航行;舰船(d)由于3种姿态的隶属度差别不大,无法准确判断航行的姿态.

5 结 论

文中在分析了舰船红外图像特点和自动识别技

术的基础上,用 H_u 不变距和仿射不变距的特征向量组进行识别.通过对比实验图片和姿态库中的样本图片间的特征值,对红外目标图像进行识别试验,能较准确的判断舰船以及转向的舰船目标,丰富了目标识别位置信息,有利于提高目标识别的准确度.

参考文献

- [1] Hu M K. Visual Pattern Recognition by Moment Invariant[J]. IRE TransInformation Theory, 1962(8): 179-187.
- [2] Jan Flusser, Tomas Suk. Pattern Recognition by Affine MonmentInvariants[J]. PR, 1993, 26(1):167-174.
- [3] 刘婧,孙继银,朱俊林,等.基于模板匹配的前视红外目标识别方法[J].弹箭与制导学报,2010,30(1):17-19.
- [4] 张洪钺,杨雪勤.基于仿射变换的飞机图像的识别[J].航空学报,2003,24(3):251-254.

欢 迎 网 上 投 稿 www.gdjsyy.com