

基于 ZEMAX 软件太阳能聚光镜优化设计

张晓晨, 帅永, 谈和平

(哈尔滨工业大学 能源学院 航空航天热物理研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

(Tel: 0451-86412308 E-mail: Zhangxiaochen18@163.com)

摘要: ZEMAX 是光学领域专业设计软件, 主要应用于光学系统的设计分析和优化处理。本文利用该软件模拟仿真太阳能聚光镜面光线传输过程。通过参数选择、仿真验证、优化处理等方式对三种曲面的聚光镜进行了光学性能仿真分析, 综合考虑了光线入射角度、光斑均匀性等方面的性能, 大大简化了繁琐的数值优化过程。

关键词: 太阳能; 辐射特性; ZEMAX; 聚光镜; 光线追迹

0 引言

太阳能具有普遍无污染、清洁无公害、无需运输等优点, 其应用方面的研究越来越受世界各国的关注。我国太阳能资源丰富, 在三分之二的国土面积上年辐射量超过 $4000 \text{ MJ/m}^2 \text{ y}^{[1]}$ 。小型碟型太阳能聚光器体积小, 重量轻, 易于运输和小规模扩展, 但其最大缺点是中心位置的接收器由于体积大不好固定同时对于入射光线角度变化过于敏感^[2]。ZEMAX 软件是由美国 ZEMAX Development 公司出品的专业光学设计软件, 主要用于光学系统的设计分析及其优化处理。本文采用 ZEMAX 软件对太阳能聚光镜光线传输和汇聚过程进行仿真分析, 考虑光线传输影响因素, 结合优化设计理论, 比较分析了几种典型的太阳能聚光镜面。

1 传统抛物面聚光镜面

抛物面具有汇聚平行入射光线的功能, 目前大多数碟形太阳能聚光器采用此种面型通过将入射光线汇聚至位于其中心上部的接收器来达到收集光能的目的。我们制作了一个口径 1.2m、焦距 0.462m, 表面由 26×32 块小矩形镜片组成的抛物面聚光镜, 结合 CCD 相机测量了焦面上的朗伯靶的辐射热流分布, 如图 1 所示。

本文利用 ZEMAX 软件中的 NSC 光线追迹模式对此镜面进行仿真, 仿真过程和结果如图 2 所示。设地面接收到的太阳辐射强度为 186 W/m^2 , 该抛物镜面接收到的辐射能量为 210W, 选取抽样光束数为 10^5 。以抛物面焦距上的光斑为标准获得聚光比为



图 1 抛物面聚光镜模型

$$C = \pi R^2 / \pi r^2 = 1200^2 / 110^2 = 119。$$

高能光斑均匀分布在 110mm 内的能量圆内，且随半径增大呈递减趋势，在朗伯靶的此区域内将产生非常高的温度，倘若把朗伯靶视为黑体模型，利用黑体辐射公式可计算朗伯靶中心处的最高温度 729.3°C。

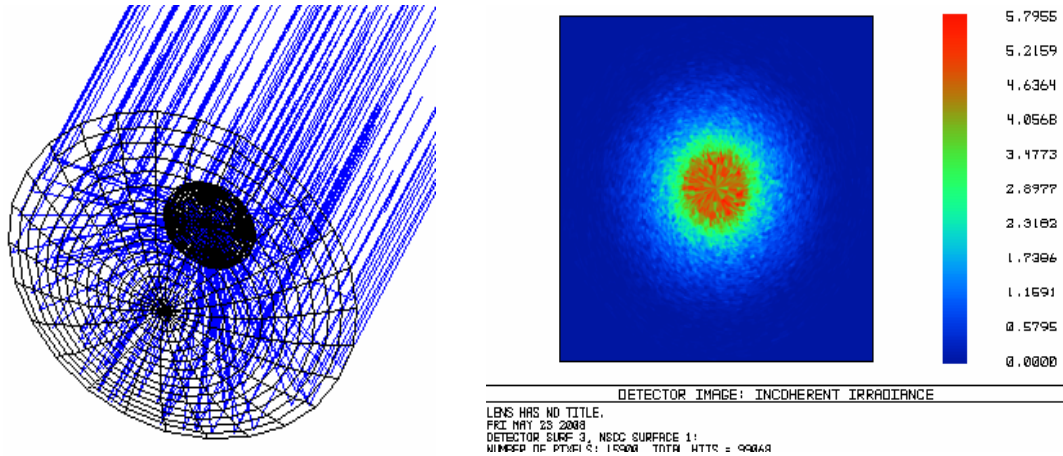


图 2 光线传输仿真示意及光斑图

聚光器聚光焦点上的温度非常高，吸收器在此区域应该选用可耐高温的吸收材料，否则将会烧坏接收器。为了测定抛物聚光镜面对光线入射方向的敏感程度，加入 5°的光线入射偏差，仿真结果如图 3 所示。

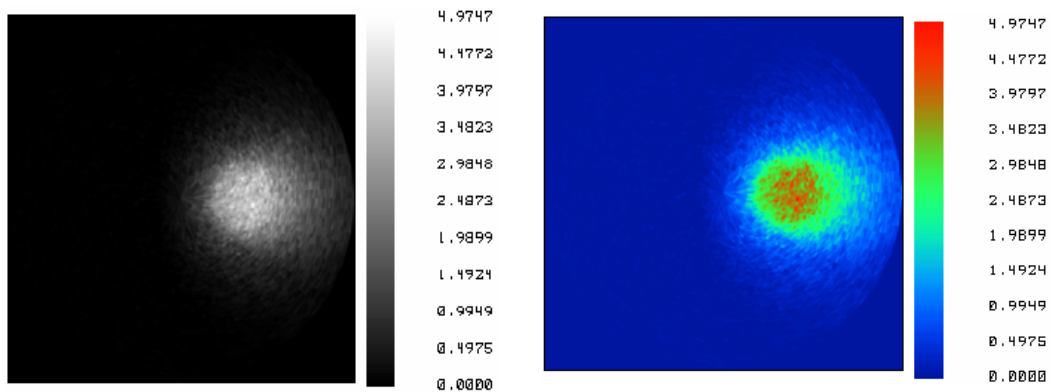


图 3 5°入射偏差形成的光斑图

朗伯靶上可接收到经过抛物镜面反射的 $87510/94606 \times 100\% = 92.5\%$ 的光线及能量，共计 194.3W，峰值光照强度为 49747 W/m^2 。虽然聚光能量衰减不大，但是光斑位置发生偏离，且能量均匀性也发生一定的变化，不利于吸收器接收聚光能量，如果入射偏差继续增大，容易导致局部过热而烧毁设备。因此抛物面聚光器在承受光线入射角度误差方面是不理想的。

2 新型超环面聚光镜面

超环面（又称为轮胎面）是一种新型聚光表面，具有特殊的像散校正功能^[3]，可以在很大程度上降低光线入射角度对光斑的影响程度。其方程定义为：

$$z = \frac{cy^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2y^2}} + \alpha_1y^2 + \alpha_2y^4 + \alpha_3y^6 + \alpha_4y^8 + \alpha_5y^{10} + \alpha_6y^{12} + \alpha_7y^{14} \quad (1)$$

式中 c 是 Y-Z 平面内曲线曲率半径的倒数； k 表示圆锥常数。利用 ZEMAX 软件对数据进行处理。为了便于与上述抛物镜面进行对比，超环面仍然用 32×26 块矩形平面镜片拼接而成，总体采用 $600 \times 600 \text{mm}$ 的矩形镜面设计其绕轴旋转角度为 $-30^\circ \sim 30^\circ$ 。光源为矩形光源，设计分析 10^5 根太阳光线，总能量为 210W 。光能探测器像素组成为 100×80 ，距离轮胎面中心距离为 460mm 。图 4 为 ZEMAX 软件仿真示意及其光斑结果。

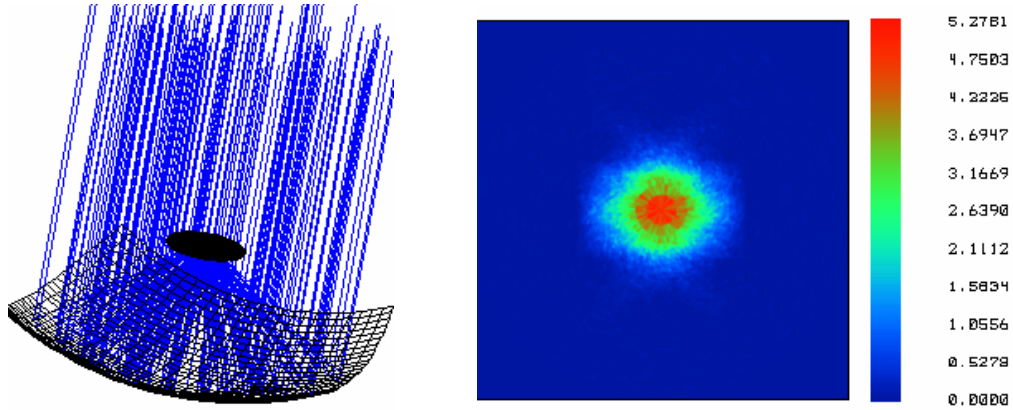


图 4 超环面 0° 角入射光线传输仿真及光斑结果示意

由于超环面聚光光斑非圆形的分布形式，只能考虑能量强度较大的区域之面积来计算其聚光比特性，当光斑直径以 100mm 计，对应的聚光比为 144。

由上图可知光斑的峰值能量强度为 52781W/m^2 ，若视能量接受平面为黑体模型，可计算出其中心处的峰值温度为 709°C 。其温度较抛物镜面低而光斑探测器上的光斑面积却相差不多，由此可知超环面聚光光斑光强分布较抛物镜面均匀，利于吸收器的光能接收且不易产生光能吸收器局部烧坏的现象。利用软件进一步分析了超环面对入射角度灵敏度及聚光比，结果表明超环面对光线入射角度变化的敏感度弱，其承受光线偏差的性能远远超过了抛物镜面（如图 5）。光斑随入射角的变化很小，其能量基本上随入射角度增大成反比例方式下降；光斑尺寸较小，大大提高了超环面聚光镜的聚光性能。但是，在入射角较小时其聚光比不太高，这影响了其在小角度入射时的聚光效果。

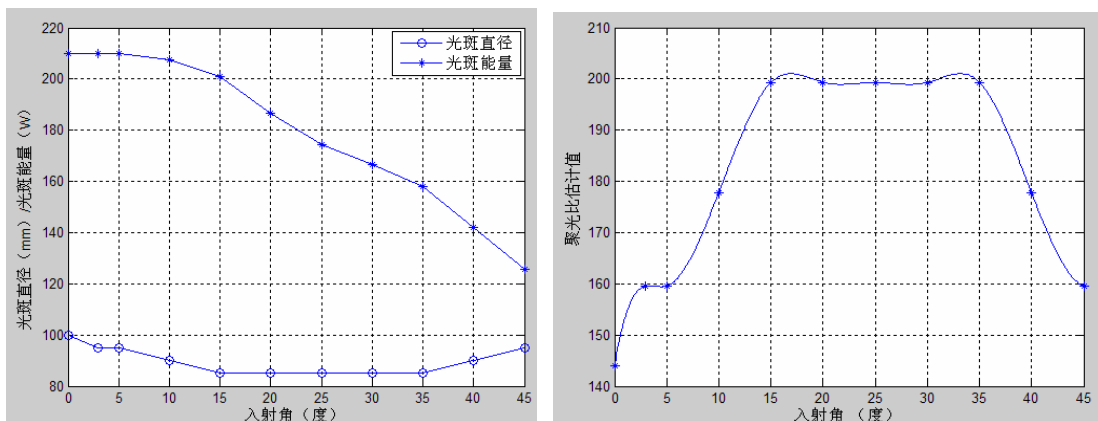


图 5 超环面对光线入射角度灵敏度及聚光比分析

3 菲涅尔反射聚光镜面

菲涅尔反射镜又称阶梯反射镜，即由一系列同心圆环状带区构成“阶梯”形不连续表面组成的反射镜，如图 6 所示。本文指定菲涅尔反射镜是由 10 条同心环带组成的圆形聚光表面，每条环带由 32 块微小矩形镜片组成。用 ZEMAX NSC 光线追迹模式下的 Tab. Faceted. Radial 对象设计该菲涅尔反射表面，通过构造每条环带位置坐标的 TOB 文件形成需要模拟的聚光镜面^[4]。具体参数如表 1 所示。图 7 和图 8 为软件仿真结果。

表 1 菲涅尔聚光镜面设计参数

聚光镜面口径 (mm)	1200	探测器口径 (mm)	300
镜面组成 (矩形镜片)	32×20	探测器距镜面 (mm)	1500
仿真模型显示光线数	200	圆形光源口径 (mm)	1200
分析计算光线总数	100000	入射光线能量 (W)	210



图 6 菲涅尔聚光镜

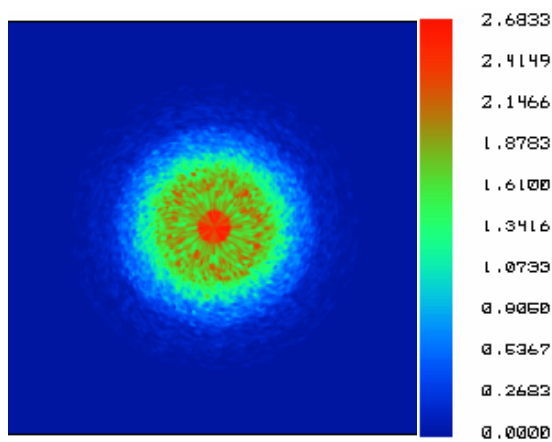


图 7 菲涅尔聚光镜光斑

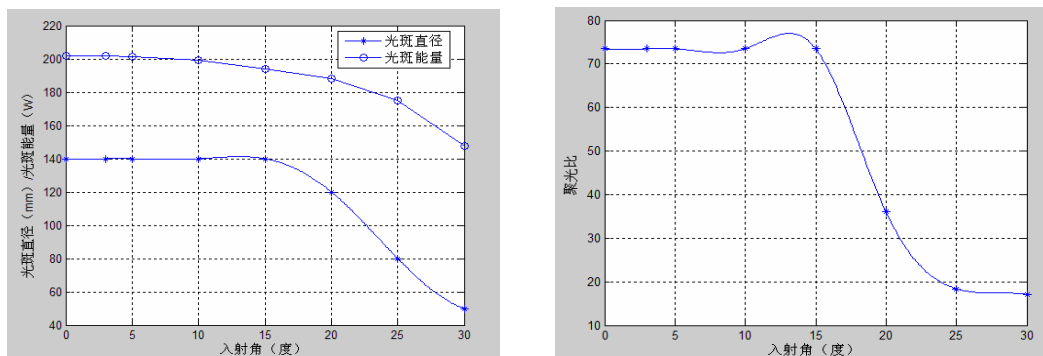


图8 菲涅尔表面聚光性能曲线

由仿真数据及曲线图可知,菲涅尔聚光表面在 $0\sim 15^\circ$ 入射角内具有良好的聚光性能,虽然聚光比较抛物镜面低,但其对光线入射角度的敏感性能要远高于传统的抛物镜且光斑的均匀性在也很好,且省去了制作曲面镜的复杂过程,完全符合太阳光能利用的要求。

4 结论

通过以上仿真数据的对比可知超环面聚光镜和菲涅尔反射聚光镜在太阳光线聚集过程中对传统抛物面聚光镜的优越性所在。虽然在入射角度为 0° 的情况下,前两种聚光表面的聚光比与抛物镜面聚光比相近甚至更低,但其在光线入射偏差、公差容忍度、光斑均匀性、光斑峰值能量等方面体现出巨大的优越性,可以在一定程度上克服抛物聚光镜面对光线入射环境过于敏感的缺陷。

参考文献:

- [1] 张文进, 孙利国, 刘晓辉. 太阳能发电技术现状与前景. 太阳能, 2006(4): 23-25
ZHANG Wen-Jin, SUN Li-Guo, LIU Xiao-Hui. The Status Quo and Prospect of Dynamoelectric Technology in Solar Power. Solar Power, 2006(4):23-25
- [2] 帅永, 张晓峰, 谈和平. 抛物面式太阳能聚能系统聚光特性模拟. 工程热物理学报. 2006, 27(3): 484-486
SHUAI Yong, ZHANG Xiao-Feng, TAN He-Ping. Simulation for Concentrating Characteristic of Parabolic Solar Collector System. Journal of Engineering Thermophysics. 2006, 27(3): 484-486
- [3] 魏秀东, 卢振武, 刘华. 一种新型极轴跟踪式定日镜的研究. 太阳能学报, 2007, 28(6): 573-576
WEI Xiu-Dong, LU Zhen-Hua, LIU Hua. The Investigation of a New Heliostat With Polar Axis. ACTA ENERGIAE SOLARIS SINICA, 2007,28(6):573-576
- [4] 王成良, 李湘宁, 贺莉清. 应用 ZEMAX 软件构造特殊面型. 光学仪器, 2001, 23(3): 23-26
WANG Cheng-Liang, LI Xiang-Ning, HE Li-Qing. Constructing User Defined Surface in ZEMAX. Optical Instruments, 2001,23(3): 23-26

基于ZEMAX软件太阳能聚光镜优化设计

作者: [张晓晨](#), [帅永](#), [谈和平](#)
作者单位: [哈尔滨工业大学能源学院航空航天热物理研究所, 黑龙江 哈尔滨150001](#)

相似文献(0条)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_6846667.aspx

下载时间: 2010年5月2日