

# 具有挡光环的遮光筒的等效反射率\*

李德熊 阎达远

(北京理工大学工程光学系, 北京 100081)

**摘 要** 讨论具有多个挡光环的漫射遮光筒的等效反射率. 在比较了文献中已介绍的几种等效反射率之后, 提出了一种更为合理的算法, 它不仅考虑了挡光环边缘的直接散射和衍射, 同时也考虑了为提高杂光估计可靠性作遮光筒分块计算时挡光环结构的实际影响. 并用实例计算作了比较.

**关键词** 杂光分析, 反射率, 双向反射率分布函数(BRDF), 挡光环.

## 1 引 言

在遮光完善的遥感器光学系统中, 通常采用具有多个挡光环的遮光筒, 以防止视场外的强光源直接照射到光学元件表面后散射造成的杂光. 遮光筒内采用挡光环后, 阻断了从遮光筒内壁到光学表面的一次散射途径. 但由于挡光环边缘的直接散射和衍射, 同时也增加了评价和估算遮光筒内表面的双向反射率分布函数(BRDF)的复杂性. 大型杂光分析程序中的算法<sup>[1~3]</sup>都比较复杂. 需要作更简化的处理.

## 2 简化杂光分析模型中的处理方法

各种简化的杂光计算方法<sup>[4~7,10]</sup>, 思路基本上是相同的. 它们都是用计算少量有代表性的光线来代替大型杂光分析方法中计算大量随机抽样光线或是大量“危险”散射面元的光路, 如图1所示, 同时将带有挡光环的遮光筒的反射特性简化成不同形式的等效反射率.

Freniere 等人的 SOAR 软件<sup>[4]</sup>中, 等效双向反射率分布函数简化成  $\rho_0^2/\pi$ , 其中  $\rho_0$  是遮光筒涂层的反射率, 平方表二次反射,  $1/\pi$  则表朗伯假设. 即, 等效反射率  $\rho$  为  $\rho = \rho_0^2$ . 显然, 这一等效

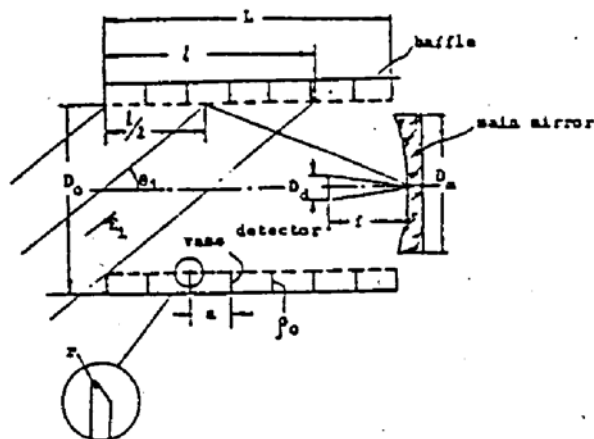


Fig. 1 Basic configuration of optical system and geometry of multi-scattering path

\* 国家教委高校博士点专项科研基金资助课题.

收稿日期: 1993年5月19日; 收到修改稿日期: 1993年8月3日

假设没有考虑挡光环边缘的直接散射和衍射,也没有考虑前后挡光环间第一次散射时构形因子(或角系数)的影响.

Warren<sup>[5]</sup>在对几何结构作若干简化假设后导出的等效漫反射率为  $\rho = \rho_0^2 / 2 \cos \theta_f$ . 式中  $\theta_f$  为限制光线射出挡光环的角度. 对于前后的挡光环为相同高度时,  $\theta_f = 0$ , 于是有  $\rho = \rho_0^2 / 2$ . 显然, 这仅仅考虑了挡光环间的二次散射(并且没有考虑入射角的影响).

Greynolds<sup>[6,7]</sup>的杂光简化计算公式中, 挡光环结构总的反射率  $\rho$  由三部分组成:  $\rho = \rho_s + \rho_e + \rho_d$ . 其中  $\rho_s$  是挡光环之间的二次散射所对应的反射率, 并考虑了前后挡光环间辐射传递的构形因子.

$$\rho_s(\theta_i, \theta_0) = \rho_0^2 \frac{(1/|\cos \theta_i|) + (1/|\cos \theta_0|) - 1 - \sqrt{1 + (|\operatorname{tg} \theta_i| - |\operatorname{tg} \theta_0|)^2}}{2|\operatorname{tg} \theta_i| \cdot |\operatorname{tg} \theta_0|} \quad (1)$$

$\rho_s$  为挡光环边缘直接向主反射镜散射的表观反射率, 它是边缘散射辐射与达到挡光环整个间隔  $S$  内的入射辐射之比<sup>[8,9]</sup>

$$\rho_s(\theta_i, \theta_0) = \frac{r \rho_0}{2 S \sin \theta_i \sin \theta_0} [(\theta_i - \theta_0 + \pi) \cdot \cos(\theta_i - \theta_0) - \sin(\theta_i - \theta_0)] \quad (2)$$

$\rho_e$  为挡光环边缘衍射所对应的表观反射率, 如图 2 所示.

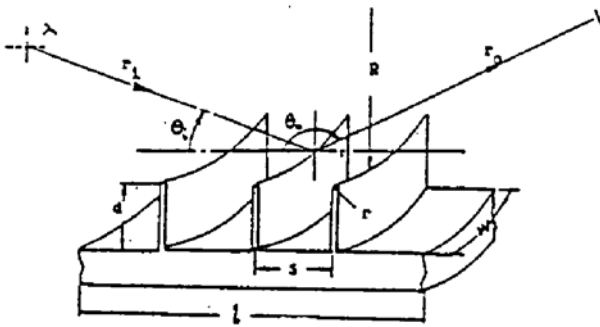


Fig. 2 Vane structure geometry

$$\rho_e(\theta_i, \theta_0) = \frac{\operatorname{tg}^2 [(\theta_0 - \theta_i) / 2] \lambda}{16 \pi S W \sin \theta_i \sin \theta_0 |(\sin \theta_i + \sin \theta_0) / R - [(1/r_0) + (1/r_i)]|} \quad (3)$$

作者为改善简化计算模型中的杂光估计曾提出分块算法<sup>[10]</sup>中, 将遮光筒和主反射镜分割成环带状或条状面元, 然后分别计算其间的多次散射杂光. 但在该文中计算挡光环的等效反射率时, 直接采用了 Greynolds 的公式, 忽略了在最后计算杂光时所用辐射能量传递基本方程  $dP_e = dP_s \rho F_{sc}$  中,  $dP_s$  为输入遮光筒环带面元的辐射. 遮光筒被分割成环带状面元后, 面元宽度  $\Delta l$  不一定恰巧等于挡光环间的间距  $S$ , 有的面元还可能并不包含有挡光环, 因此需要更合理地考虑各个面元的等效反射率.

### 3 遮光筒环状面元的等效反射率

不含挡光环的遮光筒面元的等效反射率比较简单, 显然它可以直接写成

$$\rho = \rho_s \quad (4)$$

包含有挡光环的面元的等效反射率中, 除了挡光环间的二次散射外, 还需要考虑挡光环边缘的直接散射和衍射, 但它们的计算公式需在(2)式和(3)式的基础上作适当的改进. 对于包含有一个挡光环的遮光筒面元 ( $\Delta l \leq S$ ), 挡光环边缘直接散射的表观反射率(2)式中需要将挡光环间距  $S$  更换成面元的宽度  $\Delta l$ , 它的定义就变换成边缘散射辐射与达到面元  $\Delta A_i$  上的入射辐射之比,

$$\rho'_s(\theta_i, \theta_0) = \frac{r \rho_0}{2 \Delta l \sin \theta_i \sin \theta_0} [(\theta_i - \theta_0 + \pi) \cos(\theta_i - \theta_0) - \sin(\theta_i - \theta_0)] \quad (5)$$

相类似地, 挡光环边缘衍射所对应的表现反射率(3)式中, 也需用  $\Delta l$  来取代  $S$ ,

$$\rho_i(\theta_i, \theta_0) = \frac{\text{tg}^2 [(\theta_0 - \theta_i)/2] \lambda}{16\pi \Delta l W \sin \theta_i \sin \theta_0 |(\sin \theta_i + \sin \theta_0)/R - [(1/r_0) + (1/r_i)]|} \quad (6)$$

于是总的等效反射率为

$$\rho = \rho_s + \rho_e + \rho_i \quad (7)$$

#### 4 计算举例

仍以文献[6]中的实例(参看图1)来作计算比较。它的结构参数为:  $D_0 = 1.2 \text{ m}$ ,  $L = 3 \text{ m}$ ,  $S = 0.3 \text{ m}$ ,  $r = 0.1 \text{ mm}$ ,  $\rho_0 = 0.01$ ,  $D_m = 1.0 \text{ m}$ ,  $f = 1.5 \text{ m}$ ,  $D_i = 0.1 \text{ m}$ ,  $\lambda = 10 \mu\text{m}$ , 以及  $b = 0.01$ ,  $m = -1.0$  ( $b$  和  $m$  为主反射镜光滑表面散射特性的拟合常数<sup>[6]</sup>)。仅以不同的挡光环等效反射率计算经遮光筒和主镜多次散射这部分的杂光水平(假设入射照度  $E_i = 1$ ), 其结果如表1和图3中所示。

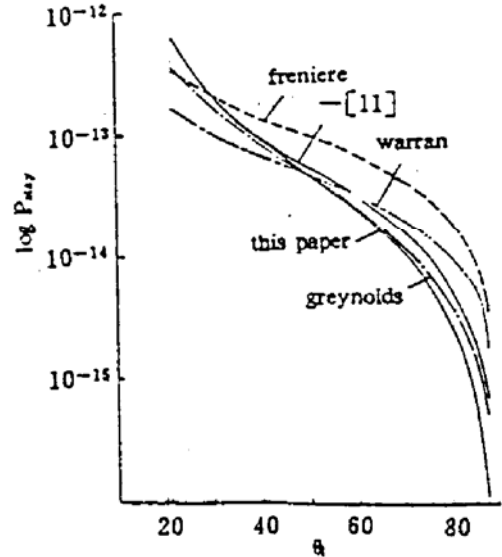


Fig. 3 Results calculated with different equivalent reflectances

Table 1. Results calculated with different equivalent reflectances

$\theta_i$	Freniere	Warren	Greynolds	ref. [11]	This Paper
21	0.3241E-12	0.1621E-12	0.3429E-12	0.6587E-12	0.6165E-12
30	0.1944E-12	0.9719E-13	0.1533E-12	0.1970E-12	0.2030E-12
40	0.1310E-12	0.6551E-13	0.7825E-13	0.9083E-13	0.8865E-13
50	0.9356E-13	0.4678E-13	0.4431E-13	0.5353E-13	0.4462E-13
60	0.6503E-13	0.3252E-13	0.2440E-13	0.3100E-13	0.2373E-13
70	0.4075E-13	0.2038E-13	0.1167E-13	0.1551E-13	0.1077E-13
80	0.1921E-13	0.9604E-14	0.3906E-14	0.5359E-14	0.2743E-14
85	0.9316E-14	0.4658E-14	0.1530E-14	0.2105E-14	0.6921E-15
88	0.3675E-14	0.1828E-14	0.5186E-15	0.7072E-15	0.1115E-15

**结 论** 在遮光完善的光学系统中, 遮光筒的散射仍是主要的杂光来源<sup>[10]</sup>。当采用挡光环以减少杂光影响时, 计算它的等效反射率时除考虑挡光环间的二次散射外, 还需要考虑挡光环边缘的直接散射和衍射, 而当将遮光筒(或其他带有挡光环的镜筒)分割成面元作分块计算时, 还需考虑每块面元中是否含有挡光环以及面元的面积大小。本文在评价文献中所介绍的几种等效反射率模型的基础上, 提出了分块计算的合理模型, 并用实例对它们作了比较。

## 参 考 文 献

- [1] S. S. Steadman, B. K. Likeness, GUERAP I simulation of stray light phenomena. *Proc. SPIE* (Stray light problems in optical systems), 1977, 107 : 98~106
- [2] S. R. Lange, R. P. Breault, A. W. Greynolds, APART, A first-order deterministic stray radiation analysis program. *Proc. SPIE* (Stray light problems in optical systems), 1977, 107 : 89~97
- [3] R. P. Breault, A. W. Greynolds, APART/PADE 8.6 : a deterministic computer program used to calculate scattered and diffracted energy. *Proc. SPIE* (Stray radiation), 1986, 675 : 105~125
- [4] E. R. Freniere, R. D. Stern, J. W. Howard, SOAR : a program for rapid calculation of stray light on the IBM PC, *Proc. SPIE* (Stray radiation in optical systems), 1990, 1331 : 107~117
- [5] A. D. Warren, Simplified techniques for estimating out-of-field radiation. *Proc. SPIE* (Radiation scattering in optical systems), 1980, 257 : 10~18
- [6] A. W. Greynolds, Formulas for estimating stray-radiation levels in well-baffled optical systems. *Proc. SPIE* (Radiation scattering in optical systems), 1980, 257 : 39~49
- [7] J. A. Bamberg, Stray light analysis with the HP-41 C/CV calculator. *Proc. SPIE*, 1983, 384 : 109~116
- [8] 车念曾, 阎达远, 辐射度学和光度学. 北京:北京理工大学出版社, 1990 : 431
- [9] R. P. Breault, Problems and techniques in stray radiation suppression. *Proc. SPIE* (Stray light problems in optical systems), 1977, 107 : 2~23
- [10] 李德熊, 阎达远, 适合在微机上使用的杂光分析方法. *光学学报*, 1993, 13(8) : 750~755

## Equivalent Reflectance of Baffle with Vanes\*

Li Dexiong Yan Dayuan

*(Optical Engineering Department, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)*

(Received 19 May 1993; revised 3 August 1993)

**Abstract** In this paper, the equivalent reflectance of diffusive baffles with vanes is discussed. After comparing several equivalent reflectances introduced in literatures, a more appropriate model is proposed, in which not only the scattering and diffraction from vanes edge but also the influences of the segmentation of baffle are considered.

**Key words** stray light analysis, reflectance, Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF), vanes.

---

\* The project supported by Doctoral Programme Foundation of Institution of Higher Education (China)