

红外扫描成像系统中 Narcissus 等效温差的修正计算

焦明印

(西安应用光学研究所, 西安 710100)

摘 要 根据辐射学原理, 并考虑到实际探测器的接收尺寸, 对现有的关于 Narcissus 等效温差的计算进行了修正。可以在红外光学系统设计阶段评价其 Narcissus 效应的影响程度, 并为红外热成像系统提供评价 Narcissus 效应的定量判据。

关键词 红外光学设计, Narcissus 效应, 红外扫描成像系统。

Narcissus 效应作为一种图像缺陷被红外系统设计者尤其是红外前视系统设计者所知已经有许多年了, 这种图像缺陷将影响热成像系统的应用, 特别是其在对比度跟踪和瞄准等方面的应用。Narcissus 的表现形式为在显示屏幕中央有一黑斑(白热状态)。较强的 Narcissus 信号将淹没目标信号, 严重地影响系统的探测、识别、分辨及跟踪性能。Narcissus 的原意为水中的影子, 在这里实际上是指红外探测器看到的它自己的杜瓦瓶冷表面经其前面的光学系统的折射表面所反射的像。在扫描成像的红外系统中, 可以更为精确地表述为: 在扫描周期内, 探测器探测到的杜瓦瓶冷表面辐射的极其微弱的信号到由仪器壳体辐射的较强信号之间的交流变化的信号。由于热成像系统是利用温差成像的, 而且壳体(一般在 300 K 左右)于杜瓦瓶冷表面(一般在 80K 左右)之间具有大于 200K 的温差, 因此对于 Narcissus 未经校正的前视系统, 将产生较强的冷信号。对于 Narcissus 效应的计算, 目前都是由探测器致冷光敏面反向追迹光路, 计算扫描镜前的光学表面对反向光线的反射情况。事实上, 扫描镜后的光学

表面也将产生一定量的 Narcissus 效应, 但由于其为直流信号, 其输出通不过交流放大器, 故此不予考虑。对反向光线经折射表面反射后光线的追迹计算, 目前有近轴光线算法^[1]和伪近轴光线算法^[2]。如图 1 所示, 首先计算得到 u_s , Narcissus 信号强度则正比于 u_s 对应的立体角 Ω_s , 对于较小的 u_s , 有

$$\Omega_s \approx 4\pi u_s^2 \quad (1)$$

将 Narcissus 信号强度与背景辐射信号强度

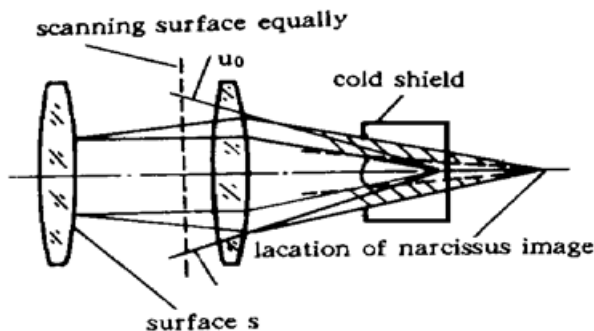


Fig. 1 Sketch for calculation of $NAR(\Delta T)$

对温度的偏导数之比定义为 Narcissus 等效温差^[3]。假定系统的扫描镜前共有 $scn - 1$ 个折射面, 则全系统的 Narcissus 等效温差可表示为

$$NAR(\Delta t) = \sum_{j=1}^{scn-1} NIR_j r_j \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} [w(\lambda, T_H) - w(\lambda, T_D)] \frac{\lambda}{\lambda_2} d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\partial w(\lambda, T_B)}{\partial T} \frac{\lambda}{\lambda_2} d\lambda} \quad (2)$$

其中:

$$NIR = \Omega_s / \Omega_0 \quad (3)$$

式中 Ω_0 为背景辐射光线的立体角, r_j 为反射率, 假定各折射面具有一致的反射率, r_j 可提至求和号前。

$$w(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 (\exp(C_2/\lambda T) - 1)} \quad (4)$$

为普朗克黑体辐射光谱密度, T_H , T_D 和 T_B 分别为仪器壳体、探测器和背景的温度(K), λ 为波长(μm)。然而如图 1 所示, 具有 u_s 角度的反向光线经某面 s 反射后, 其会聚能量并非全都被探测器接收, 图中阴影部分的能量则没有被接收。因此, 计算 $NAR(\Delta t)$ 时应考虑接收探测器的实际尺寸, 对原计算进行修正。

如图 2 所示, 假定探测器具有直径 d 的圆形接收面积, 当

$$(l'_s - l'_f) u'_s > d/2 \quad (5)$$

时, 图 1 中阴影部分的能量将不能被探测器接收, 需要缩小 u_s , 由近轴光线的线性可知, 当 u_s 降至

$$\overline{u}_s = u_s \frac{d}{2(l'_s - l'_f) u'_s} \quad (6)$$

时, 探测器可接收 u_s 角度内发出的辐射。而当 $(l'_s - l'_f) < d/2$ 时, u_s 角度内的光线将不受遮拦。对于具有矩形尺寸 $a \times b$ 的探测器, 可分别对 a , b 应用(6) 式求得, 其实际 u_s 可由下式求出

$$\overline{u}_s = \frac{4}{\pi} (\overline{u_{sa} u_{sb}})^{1/2} \quad (7)$$

根据如上思想, 本文编制了 $NAR(\Delta t)$ 计算程序, 计算时扫描系统采用共轴系统进行等效。对其红外前视系统计算了不考虑探测器尺寸和考虑探测器尺寸并进行修正两种情况。取 $T_D = 77 \text{ K}$, $T_B = T_H = 293 \text{ K}$, $\lambda_1 = 8 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 12 \mu\text{m}$, 探测器尺寸取 $a = b = 0.6 \text{ mm}$, 反射率 r 取 0.02, 计算结果为当不考虑探测器尺寸时 $NAR(\Delta t) = 1.48 \text{ K}$, 采用修正计算后结果为 $NAR(\Delta t) = 0.07 \text{ K}$ 。

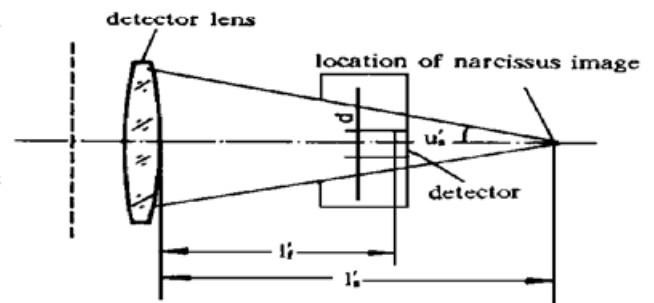


Fig. 2 Corrected calculation of $NAR(\Delta T)$

参 考 文 献

- [1] J.W. Howard, I.R. Abel, Narcissus: reflections on retroreflections in thermal imaging systems. *Appl. Opt.*, 1982, 21(18): 3393~ 3397

- [2] 王涌天, 崔桂华, 红外扫描成像系统中冷像的分析与控制. 光学学报, 1994, **14**(6) : 650~ 655
- [3] D. E. L. Freeman, Guidelines for narcissus reduction and modeling. *Proc. SPIE*, 1988, **892** : 27~ 37

Corrected Calculation of Narcissus Induced Temperature Difference in Scanned Infrared Imaging Systems

Jiao Mingyin

(*Xian Insitute of Applied Optics, Xian 710100*)

(Received 25 May 1995; revised 13 November 1995)

Abstract Based on the principles of radiometry and consideration of receiving size of the detector, the method now being used to calculate narcissus induced temperature difference is corrected. It can be used to evaluate the narcissus effects during optical design process and also to provide narcissus criteria for thermal imaging systems.

Key words infrared optical design, narcissus effects, scanned infrared imaging systems.