

红外地平仪的等效瞬时视场概念

董惠中

(中国科学院上海技术物理研究所)

圆锥扫描式红外地平敏感仪(下面简称地平仪)是用来提供卫星对地姿态偏差的仪器。

地平仪使用了浸没型热敏电阻探测器。为了获得较大的系统信噪比,系统的瞬时视场设计得较大,以至大于太阳立体角。当地平仪受到太阳干扰时,地平仪所检测到的太阳角值要比实际张角大得多。本文对这个现象进行了分析。

1. 探测器响应率的两类典型分布特性

一个红外探测系统的瞬时视场定义为系统敏感辐射的立体角元。

在地平仪中,探测器光敏面积构成了它的瞬时视场光栏,即决定探头视场^[1]。探测器响应率在空间的理想分布应是以光敏面边界为阶梯的矩形截面的立体分布。然而实际情况并非如此。图1所示曲线表示, $2^\circ \times 2^\circ$ 视场的地平仪探头在一个 $6'$ 张角的点光源扫描下,所输出的电压幅值随入射角变化的状态。归一化后就表示探测器的响应率随入射角变化的状态。在图1中,光敏面边界大致位于曲线半峰值点的入射角位置上,而半峰值以下的曲线部位却落在光敏面以外的介质面上。光敏面以外部位的响应率不为零,恰恰是该器件的一个特点。

热敏电阻探测器是个热导型器件^[2]。入射辐射能在光敏面周围介质面上转化成焦耳热后,仍可通过热导方式传到光敏面,改变器件阻值,输出电压幅值。其中沿光敏面方向的热量分布及热导状态,则直接决定器件响应率分布状态。图2表示同一视场的地平仪探头对张角为 1.5° 强碳弧光源在不同波段及位于光敏面两个互相垂直方位上测到的三条曲线。它们与图1所示曲线形状很相似,并且它们和光敏面其他方位上的各曲线簇一起构成了器件响应率的立体分布。可以形象地把它称为响应率的钟乳状分布。

当入射功率从 10^{-10} W 变到 10^{-3} W (动态范围为 120 dB) 时,热敏电阻探测器的响应率为常数^[2]。该特性说明,改变光源辐射强度并不改变同一方位的曲线形状,如图2中的曲线 A 和 B 所示。由此可推断,只要各光源的立体角相同,则探测器对这些光源的响应率分

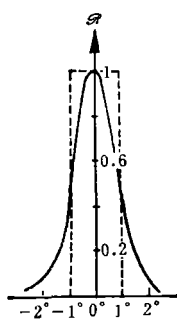


图1 热敏电阻探测器的两种响应率分布特性

虚线—理想分布特性;
实线—钟乳状分布特性

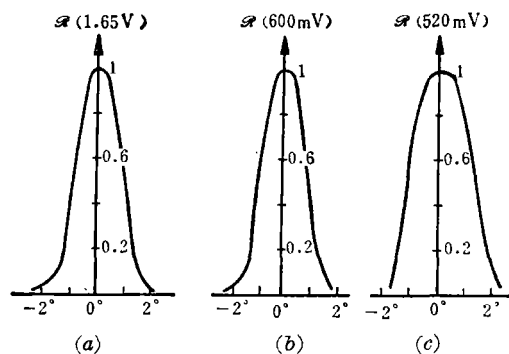


图2 地平仪探头对 1.5° 张角强碳弧光源起响应的分布曲线

- (a) 使用 $13.5 \mu\text{m}$ 前截止滤光片,
- (b) 使用 $14-16 \mu\text{m}$ 全截止滤光片,
- (c) 使用 $13.5 \mu\text{m}$ 前截止滤光片和衰减器

布曲面形状是相同的,故可相互替代。这样就有可能精确地测出我们所需要的地平仪探头对太阳辐射的钟乳状响应率分布范围。

用点光源测到的钟乳状响应率分布可用来确定探测器视场。一般通过找出立体分布的半峰值电平点位置的方法,确定光敏面所表示的视场大小及形状(其四角则用四分之一电平点确定)。通过分析探测器视场测绘图可进一步了解系统象质情况。然而探测器响应率的钟乳状立体分布形状随光源张角不同而有所差别,明显地表现在所获得的视场测绘图的形状有所不同。只有用点光源才能精确确定探测器视场的实际大小和形状。由于几何上的对应关系,也可以用视场符合设计值的探测器的不同视场测绘图,反过来估计一个未知点光源的视场角。

2. 门限电平对太阳张角的检测

对探测波段为 14 到 16 μm , 探头视场为 $2^\circ \times 2^\circ$ 的地平仪来说,探测器对地球辐射呈现理想分布的响应率特性。在地平仪内有一门限电平 U_G ,它主要用于检测在地平仪视场中出现的地球辐射张角。检测原理示于图 3。门限电平始终固定在地球脉冲的半幅电平上,这种检测方式称为固定门限值检测法。与门限电平相当,有一个辐射通量门限 P_G ,简称“通量门限”。它表示探测器输出信号电平达到门限电平时,探测器所接收到的目标辐射通量值。故有

$$U_G = \mathcal{R}P_G, P_G = \frac{1}{2} P_E. \quad (1)$$

其中 \mathcal{R} 为探测器响应率, P_E 为进入探测器的地球辐射通量。因地理纬度和季节变化,十五公里上空的大气等效温度在 215 K 到 242 K 之间变化^[3],使探测波段内地球辐射通量及地球脉冲幅值在 1 至 1.7 倍之间变化,则参量 U_G 和 P_G 也随之浮动。

当地平仪在接收强烈的太阳辐射时,因太阳张角约 0.5° ,探测器响应率呈现钟乳状分布。若把太阳看成 6000 K 的黑体,计算表明,门限电平 U_G 应位于太阳脉冲峰值 V_{SM} 的 η_s 比值上检测,此值

$$\eta_s = U_G / V_{SM} = P_G / P_s = 2.1 \sim 3.9\% . \quad (2)$$

P_s 为进入探测器的太阳辐射通量。若门限电平以 η_s 值在探测器对太阳的钟乳状电压分布曲面上检测,可获得视场角在 3.5° 到 6.5° 范围内变动的等电位截面。此截面表示地平仪探头在相应门限电平下敏感太阳辐射的区域。它近似于一个圆面。当太阳运行轨迹从敏感区域边缘移向中心时,门限电平所检测到的太阳角值,则从零按余弦增大到其视场角值。倘若地平仪探测波段放宽,太阳敏感区域相应增大。

3. 等效瞬时视场及地平仪敏感阈值

在门限电平检测太阳角的过程中可知,对探测器响应率的钟乳状立体分布来说,它的每一层等响应值截面都可表示为探测器对光源辐射起响应的敏感区域。至于哪一层截面为敏感区域,取决于相应光源的辐射通量与地平仪辐射通量门限之比,对不同辐射通量的光源,

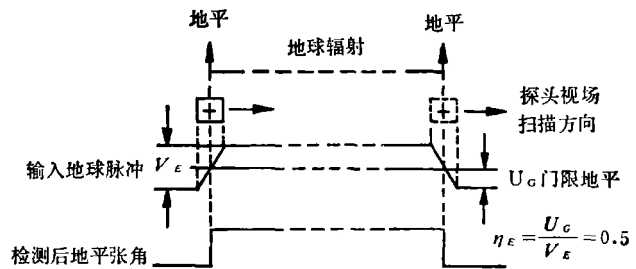


图 3 地平仪门限电平的检测原理

地平仪探头具有不同的敏感区域。它们可大于或小于探头视场。根据瞬时视场定义, 这些敏感区域在上述特殊探测条件下, 实际上起着瞬时视场作用, 故把它们称为地平仪探头对相应光源的“等效瞬时视场”。等效瞬时视场不仅能很好描述在特定条件下地平仪瞬时视场的变化, 而且也能较确切地给出变化后的估值, 是较为有用的概念。

当光源的辐射通量小于地平仪通量门限、比值 $\eta > 1$ 时将有什么结果呢? 地平仪接收月球辐射的过程就是这一例子。当地平仪接收月球辐射后, 虽然探测器输出月球脉冲波形, 但计算表明, 即使把月球看成张角为 0.5° 的黑体, 地平仪接收其向阳面上最高温度 376 K 的辐射通量, 仅仅是地球大气最低温度下的辐射通量的 0.36 倍, 而实际远远小于此值, 故地平仪检测不到月球张角值。这个情况并不表示地平仪对月球不存在视场, 而恰恰说明门限电平检测的基本性质: 地平仪对入射辐射的敏感阈值不再是通常指的系统灵敏度或信噪比了, 而是指地平仪的辐射通量门限。

经上述分析, 我们认为, 太阳角值增大是由于地平仪的固定门限值检测方式对浸没型热敏电阻探测器的钟乳状响应率分布特性作用的结果。该结果可用一个等效瞬时视场概念加以描述。为了减小太阳角值, 一般可采取缩小探头视场以及加视场光阑等措施, 不过这些措施又受到各种因素, 如最佳探测波段、探测器 D^* 、光学损耗、系统信噪比等因素限制, 具体措施要斟酌而定。

致谢——本文的实验曲线均引自我所 710 组所藏资料, 作者在写作时曾得到匡定波同志的指教, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 上海技术物理研究所热敏组, 红外物理与技术, (1975), 3: 2.
- [2] 上海技术物理研究所热敏组和上海光机所 502 组, 红外物理与技术, (1978), 2: 14.
- [3] AD-466289 (1965).

(本文 1982 年 10 月 25 日收到)