

地表反照对天基测量相机的影响

肖相国^{1,2}, 王忠厚¹, 白加光¹, 刘学斌¹

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710119)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:建立了地表反射光模型, 计算分析了地球背景反照光对空间目标的照明状况, 得知地球背景反照光可以作为天基光电测量相机的辅助照明光源. 同时对地气杂光进行了研究, 给出了天基光电测量相机地气杂散光指标的设计要求.

关键词:天基测量相机; 地表反射; 地气杂光

中图分类号: V556.5

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2009)02-375-7

0 引言

空间光电测量技术具有机动性高、使用可靠、准确度高、作业迅速等优点, 被广泛应用于现代空间科学技术领域中. 在航天器交汇测量、卫星跟踪和捕获等空间技术领域中, 天基光电测量技术具有重要的应用价值, 该技术已成为当今空间领域研究的前沿性技术. 目前, 许多国家和组织都在大力发展空间目标天基测量技术^[1].

天基光电测量相机系统主要依靠太阳光照明对空间目标进行探测、跟踪和识别. 太阳光直接照射到空间目标表面, 光电探测系统通过目标表面反射的太阳光进行探测工作^[2-4]. 天基光电测量相机在人造卫星轨道上对空间目标进行跟踪和捕获测量时, 随着空间目标姿态的不断变化, 太阳光可能照不到空间目标的观测的表面^[5]. 地球非阴影区的地表反照光对天基光电测量是一种稳定的照明光源, 它可以时刻照亮目标的工作表面, 辅助天基目标探测.

本文通过建立地表反照光计算模型, 研究了地表反照光对空间相机的辐照影响, 同时对空间相机地气杂散光的分析方法也进行了系统研究, 并给出了相应的研究结果.

1 地表反照

空间目标表面所接受到的空间辐射能量主要来源于太阳的直接辐射、地球大气辐射和地球表面反照. 在可见光波段以太阳的直接辐射和地球表面的反射为主, 地球大气辐射可以忽略不计. 这些空间辐射能量对天基测量相机有两个方面的影响: 对相机目标探测进行照明; 对相机产生杂散光干扰.

太阳同步轨道轨道面和地日连线的夹角不因地球绕太阳的公转而发生变化, 所以太阳同步轨道面一年四季具有相同的光照条件. 为了分析问题方便, 假定空间目标飞行在太阳同步轨道上. 在太阳同步轨道上, 天基测量相机对前方的目标进行跟踪测量, 工作过程如图 1.

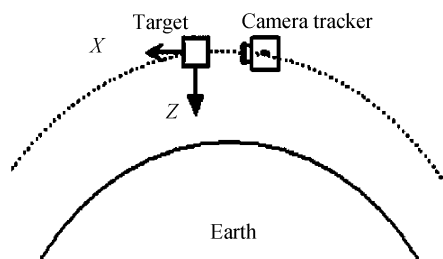


图 1 天基空间目标探测

Fig. 1 Detection system based on space

在一个轨道周期内太阳光对空间目标表面的照明情况及所建空间坐标系如图 2.

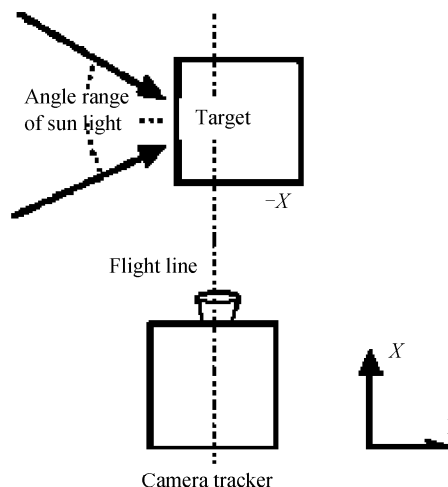


图 2 空间目标光照

Fig. 2 Target surface illumination

太阳光照亮空间目标的一 X 面, 天基测量相机通过观测目标一 X 面反射的太阳光对目标进行跟踪测量. 空间目标飞行的一个轨道周期内, 在地球非

阴影区太阳光对空间目标-X表面的光照情况是不一样的,当太阳光与空间坐标系统中的-X夹角小于 90° 时,太阳光可以照亮-X面,天基测量相机可以正常工作;当太阳光与空间坐标系统中的-X夹角大于 90° 时,太阳光无法照亮-X面,天基测量相机不能正常工作.但是在地球非阴影区,地球表面反射光绝大多数时间可以照亮空间目标的-X表面,为天基测量相机提供稳定的照明.所以地球反射光对空间目标的照射问题研究意义重大.

地球反射光可以给天基测量相机系统提供了照明,是一种照明光源,同时它也是天基测量相机的一种杂散光源.在天基测量相机视场外,地球反射光所引起的杂散光照射较为严重,若对地球反射杂散光抑制不当,它就会通过相机窗口玻璃、相机物镜等在相机像面上产生干扰,并产生虚假信号,导致测量失效.

实际中,空间目标的几何外形往往比较复杂,为了分析问题的方便,以理想的几何立方体作为空间目标,研究地球反射光对几何立方体观测表面(相机观测表面)的照明问题.研究中假定空间目标的体积为 $450\text{ mm}\times 450\text{ mm}\times 450\text{ mm}$,并且空间目标表面具有良好的漫反射特性,漫反射率为0.13.

2 天基测量相机系统参量

空间目标相对于天基测量相机在轴向 $50\text{ m}\sim 2500\text{ m}$ 的范围内工作,天基测量相机接收空间目标表面反射光进行工作.空间目标表面反射的太阳光能量大小不但与空间目标表面的几何形状及光学特性参量有关,还与天基测量相机的系统参量及光照条件有关.天基测量相机系统主要参量指标见表1.

表1 主要指标参量

名称	指标值
焦距/mm	410
F#	5
光学系统透过率	0.85
波段范围/ μm	0.486~0.760
成像器件	TH7888A(THOMSON-CSF)

TH7888A是一款性能可靠、灵敏度高、性能优良的面阵CCD成像器件.该款面阵CCD像元尺寸为 $14\text{ }\mu\text{m}\times 14\text{ }\mu\text{m}$,饱和输出电压 2.0 V ,动态范围为 80 dB .由相关参量分析可知,在可见光波段天基测量相机噪音等效像面照度计算如下

$$E_{\text{noise}} = \frac{E'_{\text{sat}}}{D_r} = 1.8 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2 \quad (1)$$

式中, D_r 是天基测量相机的动态范围, E'_{sat} 是可见光波段范围内天基测量相机饱和像面照度, E_{noise} 是可见光波段范围内天基测量相机的噪音等效像面

照度.

3 天基测量相机能量估算

太阳辐射光线进入地球大气层,经大气和地表物质的反射和散射投射到空间目标上,再经过空间目标表面的反射进入空间相机天基测量相机系统.其中大气和地表物质对太阳光的散射和反射是一个很复杂的过程.为进一步分析问题,将地球和大气等效为一个朗伯球体,朗伯球体表面具有良好的漫反射特性,太阳光经过这个朗伯球面的反射照亮空间目标^[6],光路如图3.

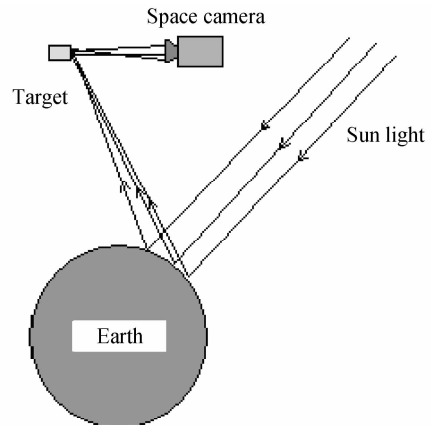


图3 地表反射

Fig.3 Light path of earth surface reflection

等效的朗伯球面反射称为地球顶部反射,地球顶部反射包括地球大气层和地表地物的漫反射.对应的地球顶部反射率称为地球表观反射率^[6].在地表温度和光谱反射率等参量确定后,在特定的大气辐射传输模型和测量条件下地球表观反射率值是确定的.在某一大气条件下,应用MONTRAN软件计算得到不同地物对应的地球表观反射率如表2.

表2 不同地物对应的地球表观反射率

地物类型	地物反射率	地球表观反射率
绿色植物	0.105	0.1318
湖水	0.078	0.1104
沙子	0.134	0.1549
水	0.049	0.0876
干草牧场	0.03-0.06	0.0728-0.0962
秃的山顶	0.24	0.2408
柏油路	0.08	0.1120

3.1 地表反射空间目标表面照度值计算

在可见光波段,空间目标表面的辐射能量主要来自两部分:太阳的直接辐射和地球反射辐射.对于太阳的直接辐射的问题,多篇文献中已有详细的论述.本文针对空间目标的探测问题,主要研究地球反射辐射在空间目标表面产生的照度值.空间目标表面的照度值与地球大气、地表反射物有关.

3.1.1 空间目标表面照度计算方法的研究

假设一束太阳光线入射到地球表面,发生漫反射,一部分漫反射光射向航天目标器表面,简化光路见图 4. 地表反照光作为地表光源同时照空间目标的下表面和侧面.

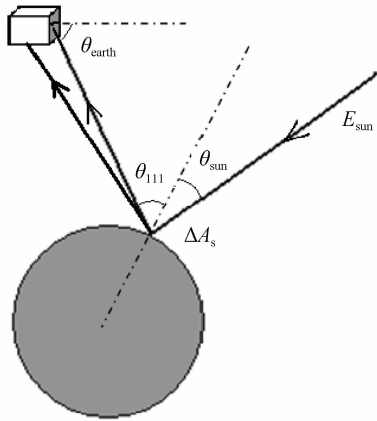


图 4 地表反照光路

Fig. 4 Analytical model of earth surface reflection

能量传递的整个过程分为两步进行研究,首先太阳照亮地球表面,然后地球表面作为光源照亮空间目标表面. 具体分析计算如下:

首先,一束太阳光入射到地球表面某一位置,将地球表面上相应位置的微小区域 $\Delta A_s(x, y, z)$ 照亮,该微小区域 ΔA_s 作为一个面光源产生的辐射亮度为 L_ρ , L_ρ 计算公式为

$$L_\rho = \frac{E_{\text{sun}} \times \rho_{\text{top}} \times \cos(\theta_{\text{sun}})}{\pi} \quad (2)$$

式中, E_{sun} 表示在可见光波段太阳光在地球表面产生的照度, ρ_{top} 为地球的表现反射率, θ_{sun} 是太阳入射光方向与 $\Delta A_s(x, y, z)$ 区域法线方向的夹角.

其次,地球表面产生的面光源 $\Delta A_s(x, y, z)$ 照亮空间目标表面. 假设面光源 $\Delta A_s(x, y, z)$ 在空间目标器表面产生的照度为 ΔE , 见式(3)^[3]

$$\Delta E = L_\rho \frac{\Delta S \times \cos(\theta_{111}) \times \cos(\theta_{\text{earth}})}{l^2} \quad (3)$$

式中 l 表示地球表面的微小面光源 $\Delta A_s(x, y, z)$ 和空间目标表面之间的距离, ΔS 是面光源 $\Delta A_s(x, y, z)$ 的面积, θ_{111} 是面光源 $\Delta A_s(x, y, z)$ 对空间目标表面投射光的方向与地球表面 $\Delta A_s(x, y, z)$ 法线方向的夹角. θ_{earth} 是面光源 $\Delta A_s(x, y, z)$ 对空间目标表面投射光的方向与空间目标表面法线方向的夹角.

实际中是很多束太阳光的能量均可以通过地球表面传递到空间目标表面,此时空间目标表面的照度是所有 ΔE 的共同作用. 将地球反照在空间目标表面产生的照度记作 E

$$E = \int_0^S \Delta E \, d\Delta S = \int_0^S \frac{L_\rho}{l^2} \cos(\theta_{111}) \cos(\theta_{\text{earth}}) \, d\Delta S =$$

$$\frac{E_{\text{sun}} \rho_{\text{top}}}{\pi} \int_0^S \frac{\cos(\theta_{\text{sun}}) \cos(\theta_{111}) \cos(\theta_{\text{earth}})}{l^2} \, d\Delta S \quad (4)$$

式中, S 为有效地表反照区域,所谓有效地表反照面积就是指投射到该区域的太阳光可以照亮空间目标表面. 式(4)给出了地球反照在空间目标表面产生的照度的计算公式.

3.1.2 地球反照光积分面积的确定

式(4)中积分号里面计算函数的展开项非常复杂,是一个不可积分函数. 为此对地球表面积进行网格划分,应用计算机辅助计算对每个网格内的函数值进行求和. 并以这个求和的值作为式(4)的积分值.

对式(4)进行积分时,积分函数的积分区域 S 为有效地表反照区,在该区域的地表反射光线可以照射到空间目标表面. 有效地表反照区的大小和位置与空间目标的轨道高度和太阳光投射方位角有关. 有效地表反照区的确定非常复杂,下面就典型的一种情况作分析,用图演示地表反射有效区域的面积和位置. 假定空间目标的轨道高度为 500 km, 太阳的入射角度为 75° , 如图 5.

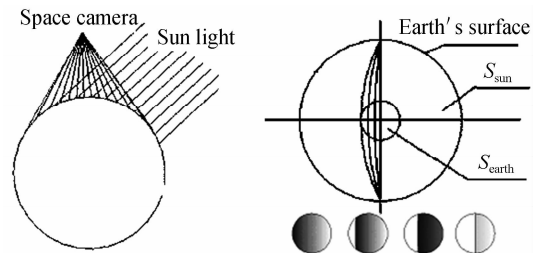


图 5 地表有效光照区域

Fig. 5 Effective area of illuminated earth-surface

在图中 S_{earth} 面积上的光线可以照亮空间目标表面, S_{sun} 面积是太阳光可以照亮的地球表面,那么地球反照有效区域面积 $S = S_{\text{earth}} \cap S_{\text{sun}}$.

3.1.3 目标表面照度值的计算

地表反照辐射照亮空间目标表面时,对地表反照辐射而言,影响辐亮度 L_ρ 的因素有两个:一个为太阳辐照度 E_{sun} , 另一个为地球表现反射率 ρ_{top} . 当太阳常量为 1353 W/m^2 时^[6], 在可见光波段,大气层外太阳的辐照度为 438.894 W/m^2 . 根据表 1 的数据统计分析可知,无云的情况下,地球表现反射率 $\rho_{\text{top}} = 0.08 \sim 2.4$.

由式(4)分析可知,地表反照在空间目标表面产生的照度 E 和距离参量 l 有关, l 的大小是由轨道高度决定的. 假定空间目标轨道高度为 500 km, 通过式(4)采用离散积分的方法计算得到不同太阳高度角和反射率下,空间目标表面的照度见表 3 和表 4.

表3 空间目标表面的照度_0.08

太阳高度角/(°)	侧面	下底面
55	25.265	52.782
75	27.359	56.882
85	28.622	59.255

表4 空间目标表面的照度_0.24

太阳高度角(°)	侧面	下底面
55	75.794	158.346
75	82.077	170.648
85	85.866	177.766

表3为于地表反射物是水的情况,即空间目标在海洋上方;表4对应于地表反射物是大面积的秃顶山情况,即空间目标在山峦之上。

3.2 天基测量相机像面照度计算

天基测量相机在轨道上对空间目标进行测量时,主要观测到空间目标的侧面。

3.2.1 目标表面辐射亮度计算

目标表面的辐亮度值的大小取决于空间目标表面的漫反射系数和地球反照在其表面产生的照度。当空间目标表面在可见光波段的漫反射率系数为 ρ 时,目标表面产生的辐射亮度为 L_{obj} ,根据式(5)计算

$$L_{obj} = \frac{\rho_{obj} \cdot E}{\pi} \quad (5)$$

式中, ρ_{obj} 为目标表面的漫反射系数, E 为地表反照在空间目标表面产生的照度。

3.2.2 像面照度计算方法

天基测量相机中的光学系统可以看作是光能的传递系统,考虑到传递过程中的拦光、吸收和反射等损失,给定光学系统的透过率系数 K ,本文研究的天基测量相机系统的透过率系数 $K=0.85$ 。

空间目标为朗伯体,从空间目标观测表面发向天基测量相机入瞳的总光通量为 $\Phi^{[4]}$

$$\Phi = \pi L \times ds \times \sin^2(U) \quad (6)$$

式中, L 为空间目标表面的辐亮度,即 L_{obj} ; ds 空间目标表面的面积, U 为空间目标表面上一点对天基测量相机入瞳所张的最大孔径角。

从物面到像面传递过程中光能量有损失,则到达像面上的能量为 Φ'

$$\Phi' = K \times \Phi \quad (7)$$

像面中心部分的光照度为 E_{CCD}

$$E_{CCD} = \frac{\Phi'}{S'} \quad (8)$$

式中, S' 是传递的光能量在像面上的分布面积。

光能量在像面上的分布面积与两个因素有关:空间目标在天基测量相机像面上的成像面积,天基测量系统衍射弥散半径(由系统的像差和衍射效应

决定)。当成像面积大于衍射弥散半径时,能量的分布面积 S' 就是成像面积;当成像面积小于衍射弥散半径时,能量的分布面积 S' 就是衍射弥散圆的面积。对于不同距离下空间目标所成的像的尺寸和天基测量相机衍射弥散半径尺寸的对比分析结果见表5。

表5 计算结果对比分析

距离/m	物体尺寸/mm	物体面积/m ²	成像尺寸/mm	成像面积/mm	衍射弥散半径/mm
50	450	0.2025	3.72E-00	1.38E+01	8.00E-03
500	450	0.2025	3.69E-01	1.36E-01	8.00E-03
2500	450	0.2025	7.38E-02	5.45E-03	8.00E-03

在500~2500 m范围内,对于该天基测量相机来说,目标所成像的几何尺寸是光学系统衍射圆尺寸的9.2倍,所以整个计算过程中, S' 等于空间目标表面成像面积的大小。所以像面中心部分的光照度 E_{CCD}

$$E_{CCD} = \frac{\pi \cdot K \cdot L}{4} \times \frac{1}{(F^\#)^2} \quad (9)$$

式中, $F^\#$ 是天基测量相机系统的 $F^\#$, L 为空间目标表面的辐亮度,等于 L_{obj} ,将式(5)代入到式(9)可以得到

$$E_{CCD} = \frac{K \cdot \rho_{obj} \cdot E}{4} \times \frac{1}{(F^\#)^2} \quad (10)$$

3.2.3 像面照度计算

当太阳高度角为55°时,在可见光波段范围内空间目标表面反射率分别为0.12和0.4,不同情况下根据式(10)计算空间相机的像面照度如表6。

表6 空间测量相机像面照度

目标表面照度 $E/W \cdot m^2$	相机像面照度 E_{CCD} $\rho_{obj}=0.12$	相机像面照度 E_{CCD} $\rho_{obj}=0.4$
25.265	0.324 W·m ²	1.079 W·m ²
55.5655	0.712 W·m ²	2.373 W·m ²
85.866	1.100 W·m ²	3.667 W·m ²

3.3 天基测量相机能量计算结果分析

天基测量相机工作时,要求从空间目标表面辐射的能量足够强,使得探测系统的信噪比达到一个探测阈值^[3]。在这个阈值时测量相机系统的噪音对测量相机的图像质量不产生影响。

由表5可知,当太阳高度角为55°,空间目标表面的反射率为0.12时,目标像面上反射的能量在天基测量相机像面上产生的照度 E 为0.324 W/m²。此时天基测量相机系统的信噪比SN计算如下

$$SN = \frac{E}{E_{noise}} = \frac{0.324 \text{ W/m}^2}{1.8 \times 10^{-4} \text{ Wm}^2} = 1800$$

当地球反照光作为照明光源,在只考虑天基测量相机系统暗电流噪音的情况下,理论分析天基测

量相机信噪比为 1800 倍. 当天基测量相机系统的散粒噪声不能忽略, 在考虑系统散粒噪声的情况下, 天基测量相机系统的信噪比大于 40 dB(探测器满势阱时受散粒噪声限制的信噪比).

当天基测量相机系统的信噪比大于 40 dB 时, 噪声对图像的判读不产生影响. 所以说, 地球反照可以用于天基测量相机的探测照明, 即地球非阴影区太阳照射效果不好的区域, 地球反照光可以很好得辅助太阳光对空间目标进行照明.

4 天基测量相机地气杂光分析

光学系统成像时, 到达像平面的光分为参与成像的光和不参与成像的光两部分, 不参与成像的光对像质是有害的, 称为杂光^[7]. 空间测量相机在空间工作时, 视场外的地表反照光会进入相机系统到达像平面上, 这种到达空间相机像平面的地表反照光称为地气杂光. 地气杂光如图 6.

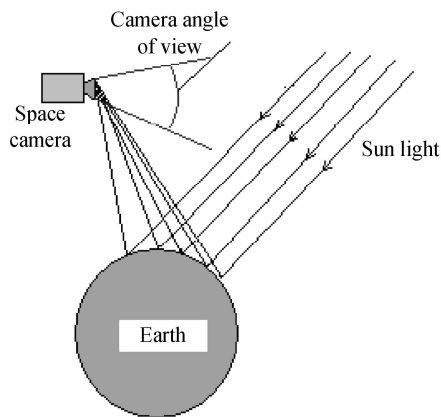


图 6 地气杂光

Fig. 6 Atmosphere-earth stray light map

地气杂光与地面的性质、云层的分布状态有关, 而且差别很大. 例如, 海水的反射率大约为 0.5%, 低层厚云的反射率可高达 90%.

4.1 空间测量相机杂散光分析

衡量光机系统抑制杂散光的指标目前尚未统一规定, 但已经提出了两种方法, 基于黑斑法的消杂光系数和基于点光源的点源透过率. 黑斑法测量简单, 测量装置也不复杂, 常用于杂散光的测量^[7]. 点光源透过率法原理简单, 但是测量装置极其复杂, 常用于杂散光的分析设计. 对于空间光电探测系统而言, 太阳、月亮、地光等形成的杂散光背景是不均匀的, 并且不是连续的, 其中太阳和月亮均可以视为点光源来分析, 地气背景也只是视场外的局部背景. 综合以上原因, 采用点源透过率法对空间相机的地气杂光进行研究, 点源透过率法也叫点源透射比法.

点源透射比 (Point source Transmittance, PST) 是杂光分析当中最常用的一种结果输出方式,

是评价光机系统消杂散光能力的主要指标. 点源透射比 PST 为^[8]

$$PST_{\theta} = \frac{E_d(\theta)}{E_i} \quad (11)$$

式中, $E_d(\theta)$ 是由离轴角为 θ 的杂散光源在相机系统探测器上产生的辐照度; E_i 是垂直于该点源的输入孔径上的辐照度; PST 是点源垂直照度透射比.

如果规定了系统的 PST 值, 当点源在入瞳上杂光辐照度已知时, 通过式 (11) 能计算出探测器上的杂光辐照度, 提供出系统杂光噪声水平的数据. 另一方面, 若对系统像面的杂光辐照度有一定的要求时, 在已知杂光入瞳辐照度的条件下, 就可以对系统的杂光指标 PST 提出要求.

所以, 结合天基测量相机的使用, 在测量相机系统在像面上的杂光辐照度小于测量相机系统的噪声等效像面照度的条件下, 可以定量设计地气杂光的抑制指标 PST 的量值, 为空间相机系统杂散光的设计提供设计依据.

4.2 地气杂光抑制指标 PST 计算方法研究

假设地球表面为漫反射体, 地气杂光在空间相机视场外某一角度以外的范围入射相机系统. 这个角度值的大小与空间相机的轨道高度有关, 计算公式如下

$$\theta = 90 - \tan^{-1}\left(\frac{R}{R+H}\right) = 67^{\circ} \quad (12)$$

式中, R 为地球半径, H 为空间相机的轨道高度, 假设轨道高度为 500 km.

地气杂散光在 $\theta \sim 90^{\circ}$ 范围内入射空间相机系统, 假设地气杂散光在空间相机像面上产生的照度为 E_d , 则 E_d 为

$$E_d = \sum_{\theta}^{90} (E_{\theta} \times PST_{\theta}) = E_{67} PST_{67} + E_{68} PST_{68} + \dots + E_{90} PST_{90} \quad (13)$$

式中, E_d 为从各个方向入射相机系统的地气杂光在像面上引起的照度, E_{θ} 为离轴角为 θ 度时垂直于该点源的输入孔径上的辐照度, PST_{θ} 为离轴角为 θ 度时光机系统的点源透过率. 对于相机系统而言, 存在如下关系

$$PST_{67} \geq PST_{68} \geq \dots \geq PST_{90} \quad (14)$$

所以由式 (12) 可以得到

$$E_d = E_{67} PST_{67} + E_{68} PST_{68} + \dots + E_{90} PST_{90} \leq E_{67} PST_{67} + E_{68} PST_{67} + \dots + E_{90} PST_{67} = (E_{67} + E_{68} + \dots + E_{90}) PST \quad (15)$$

又可以得到

$$PST \geq \frac{E_d}{E_{67} + E_{68} + \dots + E_{90}} \quad (16)$$

PST 体现了光学系统本身衰减杂光的能力, PST 值

越小则表示系统杂光抑制能力强,系统性能好.所以当空间相机系统地气杂光的抑制指标 PST 值按式(17)的计算值设计时,空间相机对地气杂光可以很好地抑制.

$$PST = \frac{E_d}{E_{67} + E_{68} + \dots + E_{90}} \quad (17)$$

令, $E_{\text{earth}} = \sum_{\theta}^{90} E_{\theta} = E_{67} + E_{68} + \dots + E_{90}$, 式(17)可以简化记作

$$PST = \frac{E_d}{E_{\text{earth}}} \quad (18)$$

4.3 PST 值估算

杂散光在某一拍摄瞬间对成像系统来说是个干扰,在整个拍摄过程中,这种干扰是随着拍摄位置和拍摄场景随机波动的.这种随机波动对整个拍摄过程而言是一种噪音,这种噪音是不能通过软件处理的方法消除,只能在仪器设计初期对引起这种噪音的杂散光进行抑制控制.公式(12)中, E_d 为相机系统视场外杂散光源在相机像面上产生的照度,当 E_d 在数值上与相机系统光电器件噪音等效像面照度 E_{noise} 相当时或小于一个数量级时,相机系统的杂散光抑制能力良好,杂散光不对相机系统成像产生影响.

在测量相机系统在像面上的杂光辐照度小于测量相机系统的噪音等效像面照度的条件下,令 $E_d = E_{\text{noise}}$. 根据式(19),可以定量设计地气杂光的抑制指标 PST

$$PST(67^\circ) = \frac{E_d}{E_{\text{earth}}} = \frac{E_{\text{noise}}}{E_{\text{earth}}} \quad (19)$$

式中, $E_{\text{earth}} = \sum_{\theta}^{90} E_{\theta}$, 表示地气杂光对空间相机的影响, E_{θ} 的求解为

$$E_{\theta} = \frac{E_{\text{sun}} \times \cos(\theta_{\text{sun}}) \times \cos(\theta_{111}) \rho_{\text{top}}}{\pi \times l^2} \quad (20)$$

将式(20)带入得到

$$E_{\text{earth}} = \sum_{\theta=67}^{\theta=90} E_{\theta} = \sum_{\theta=67}^{\theta=90} \frac{E_{\text{sun}} \times \cos(\theta_{\text{sun}}) \times \cos(\theta_{111}) \rho_{\text{top}}}{\pi \times l^2} \quad (21)$$

经过计算分析得

$$E_{\text{earth}} = 228.2 \text{ W/m}^2 \quad (22)$$

所以空间相机对地气杂光的抑制指标设计值估算为

$$PST(67^\circ) = \frac{E_d}{E_{\text{earth}}} = \frac{1.8 \times 10^{-4}}{228.2} = 7.8 \times 10^{-7}$$

当空间相机的杂散光抑制能力满足该要求时,地气杂光对空间相机的正常工作不产生影响.

5 结论

本文从空间相机的辅助照明和杂散光两个方面

对地球反照光进行了研究.研究了典型条件下地球反照对空间目标探测的照明问题,计算了不同地球背景在空间目标表面上产生的照度大小,同时论证了空间相机在地球反照光照明条件下空间目标的探测可行性问题.

对空间相机地气杂散光的抑制问题进行了研究.在研究地气杂光时进行了较大的近似,结果对空间相机的杂光抑制提出了更为苛刻的要求.当空间相机满足 $PST(67^\circ) \leq 7.8 \times 10^{-7}$ 条件时,地气杂光对空间相机的微光探测也不产生任何影响.

本文只研究了特定状态下地球反照光对空间目标的照明问题,没有对空间目标在地球非阴影区的所有位置地球反照光照明问题进行研究.

参考文献

- [1] ZHOU Yan-ping, SHU Rui, TAO Kun-yu, *et al.* Study of photoelectric detecting and identifying of space target [J]. *Optical Technique*, 2007, **33**(1): 69-73.
周彦平,舒锐,陶坤宇,等.空间目标光电探测与识别技术的研究[J]. *光学技术*, 2007, **33**(1): 69-73.
- [2] YU Jian-hui SU Zeng-li. Analysis of luminosity features of satellites on space based surveillance [J]. *Journal of Spacecraft TT&C Technolog*, 2006, **25**(1): 52-56.
余建慧,苏增立.天基观测目标卫星光度特性分析[J]. *飞行器测控学报*, 2006, **25**(1): 52-56.
- [3] CHEN Rong-li, HAN Le, CHE Chi-cheng, *et al.* Research on un-illuminant space target visual detection technique [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(9): 1438-1440.
陈荣利,韩乐,车驰骋,等.非自发光空间目标的可见光探测技术研究[J]. *光子学报*, 2005, **34**(9): 1438-1440.
- [4] MAYER G J, MACDONALD M J, PONG N G S. A CCD photometric camera for satellite observation [R]. Lexington: MIT Lincoln Laboratory, 1983, ADA 137214.
- [5] PENG Hua-feng, CHEN Jing, ZHANG Bin. Luminant characteristic of space target in space-based opto-electronic telescope [J]. *Opto-Electronic Eng*, 2006, **33**(12): 9-14.
彭华峰,陈鲸,张彬.空间目标在天基光电望远镜中的光度特征研究[J]. *光电工程*, 2006, **33**(12): 9-14.
- [6] VERMOTÉ E, TANRÉ D, DEUZÉ J L, *et al.* 6S user guid [M]. 2nd ed. France: Laboratoire d'Optique Atmosphérique, 1997.
- [7] QI Wen-pu, WANG Feng-zhen, QUAN Gui-qing. Optical detection [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1997: 2.
齐文浦,王凤珍,权贵秦. *光学检测* [M]. 西安:西安交通大学出版社, 1997: 2.
- [8] LIAO Sheng, SHEN Mang-zuo. Point source transmittance of stray light of infrared optical systems and its measurement [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 1996, **15**(5): 375-378.
廖胜,沈忙作.红外光学系统杂光 PST 的研究与测试[J]. *红外与毫米波学报*, 1996, **15**(5): 375-378.

Influence of Earth Radiation on Photoelectric Detection System Based on Space

XIAO Xiang-guo^{1,2}, WANG Zhong-huo¹, BAI Jia-guang¹, Liu Xue-bin¹

(1 *Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China*)

(2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Received date: 2008-04-08

Abstract: A illuminating model of earth radiation was built, and the luminous intensity of the space target surface from the earth radiation was calculated. The results show that the earth radiation is enough illumination for photoelectric detection system based on space. The stray-light from atmosphere-earth was researched, and a method how to evaluate the stray-light influence of earth radiation on photoelectric detection system based on space was investigated.

Key words: Space camera; Earth radiation; Atmosphere-earth straylight



XIAO Xiang-guo was born in 1979. He received his B. S. degree from Instrument Engineering Department of Xi'an Institute of Technology in 2002. Now he is studying for his Ph. D. degree at Xi'an Institute of the Optics and Precision Mechanics(XIOPM). His research interests focus on space optics and optical design.