

文章编号: 1003-501X(2007)03-0042-04

## 空间目标光度特性测量方法研究

高 昕<sup>1, 2, 3</sup>, 王建立<sup>4</sup>, 周泗忠<sup>1</sup>, 黄惠明<sup>3</sup>, 熊仁生<sup>1</sup>

(1. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710068; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;  
3. 北京跟踪与通信技术研究所, 北京 100094; 4. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘要:** 空间目标的光度特性反映了目标的在轨运动状态, 通过空间目标的光度测量可以判断空间目标在轨特性和进行空间目标的编目识别。比较了空间目标光度特性光度计和 CCD 测量的两种方法, 并采用恒星比对的方法, 得到了空间目标的星等数据, 实验结果表明两种测量方法星等精度相当, 但 CCD 测量可以在白天测量空间目标的光度特性。

**关键词:** 空间目标; 光度测量; 目标探测; 目标识别

中图分类号: V556

文献标识码: A

### Photometric characteristic measurement of space target

GAO Xin<sup>1,2,3</sup>, WANG Jian-li<sup>4</sup>, ZHOU Si-zhong<sup>1</sup>, HUANG Hui-ming<sup>3</sup>, XIONG Ren-sheng<sup>1</sup>

(1. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Beijing Institute of Tracking and Telecommunication Technology, Beijing 100094, China;

4. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** The photometric characteristic of space target can reflect the movement in orbit. According to photometric measurement, the orbit performance of space target is judged and the identification catalog about space target is carried out. Compared photometric characteristic measurement photometer with CCD measurement, adopted the method about star comparison, and obtained the stellar magnitude data of space target. The experimental results show that two kinds of methods on magnitude measurement have the same precision, but CCD measurement can measure the photometric characteristic of space target in the daytime.

**Key words:** Space target; Luminosity measurement; Target detection; Target recognition

## 引 言

随着航空航天技术的迅猛发展, 空间人造目标(卫星和空间碎片)也越来越多, 为了实现对空间目标的有效监管与识别, 需要对空间目标的运动轨道、光度、辐射、几何特征等目标特性等进行测量。光学观测可以获取空间目标反射的可见光亮度、光学图像和红外辐射光谱。利用空间目标的可见光亮度或红外辐射光谱的变化规律, 可以推算目标的姿态稳定情况, 再根据卫星的姿态变化可以将工作卫星从大量的空间垃圾和失效卫星中区分出来。目前, 空间光度的光度测量测量手段主要采用光度计法和 CCD 测量方法, 在实际试验中, 我们分别采用两种光度测量方法, 获得了目标的空间光度数据。通过比较, 给出了两种测量方法的区别。实验结果表明两种测量方法星等精度相当, 但 CCD 测量可以在白天测量空间目标光度特性。

收稿日期: 2006-09-22; 收到修改稿日期: 2006-12-06

作者简介: 高昕(1973-), 男(汉族), 天津人, 工程师, 主要从事靶场光测设备总体研究工作。E-mail: gaixin526@sina.com

对空间目标的光度衡量一般采用星等的概念, 通过与已知星等的与太阳相同光谱的 G 型恒星比较, 可以得到反射阳光的空间目标的星等, 通过观测弧段星等的变化, 可以识别出目标的运动状态。

## 1 光度计光度测量方法

### 1.1 测量原理

光度计光度测量系统主要由光学系统、光度计、跟踪系统等组成。测量时, 由跟踪系统跟踪空间运动目标, 保证目标处在光度计光学视场, 光度计采集目标的光度数据。为了克服天空背景对测量的影响, 需要将背景的光度影响扣除, 通常采用回扫的方法。即在跟踪目标测量后, 沿实测目标轨迹回扫天空背景, 光度计采集背景数据, 在目标测量数据中扣除背景辐射的部分。

望远镜配备专门的 G 型太阳光谱型星库, 用于目标光度的星等比对测量。根据公式(1), 计算目标的星等。

$$m = 2.5 \log(n_0 / n) \quad (1)$$

式中  $n_0$  零等星的光子数,  $n$  目标的光子数。

$n_0$  通过公式(2), 由任意一颗已知星等的 G 型太阳光谱型星的光子数  $n_r$  计算得到:

$$n_0 = n_r \times 2.512^{m_r} \quad (2)$$

### 1.2 光度计系统组成

光度计由探测器、信号提取、光子计数模块组成, 如图 1 所示。探测器模块包括光度测量光学系统、

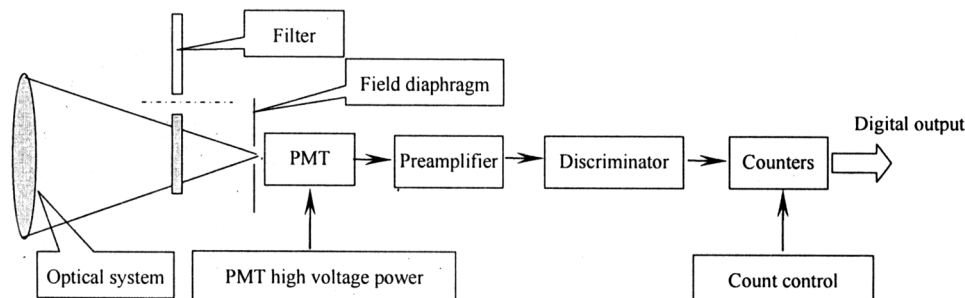


图 1 光度计系统组成及工作原理

Fig.1 Composition and working principle of photometer

光子计数型光电倍增管及电源, 信号提取模块包括前置放大器、鉴别器和脉冲整形电路, 光子计数模块包括计数器和计数控制器。输出的光度测量数据由计算机进行采集和处理。

### 1.3 测量方法约束条件

采用光度计方法测量空间目标光度时需要注意以下约束条件:

- 为了能有效扣除背景, 需要实时沿目标运动轨迹, 回扫天空背景;
- 测量过程需要控制率光片和光栏, 使得光度计数据不会饱和;
- 跟踪过程中识别恒星干扰, 即能将恒星位置求出, 将有恒星的数据剔除;
- 恒星从光谱角度大体分为 O、B、A、F、G、K、M 七种光谱类型。卫星反射的是太阳光, 太阳的光谱类型与 G 型恒星的光谱类型基本一致, 因此选择 G 型光谱类型恒星作为比对恒星。

## 2 CCD 光度测量方法

### 2.1 测量原理

空间目标的亮度是由太阳光照射产生的, 亮度的大小可以用星等表示。根据星等计算公式:

$$m = 2.5 \log_{10} E_0 / E \quad (3)$$

其中  $m$  为所计算星等,  $E_0$  为零等星的照度,  $E$  为所目标的照度。根据已知星等恒星及其照度, 可以得到零

等星的照度数据  $E_0$ ，通过多次取不同位置数据的恒星，可以得到一组零等星的照度数据，然后将其平均，即可以作为标准的零等星的照度。根据公式(3)，只要测出目标的照度  $E$ ，就可以得到卫星的星等。

恒星和目标的照度  $E$  与目标的图像灰度和  $DN$ (目标成像象元的所有灰度和)成线性关系，因为目标图像灰度是照度与光学系统口径面积和积分时间的乘积成正比，显然在光学系统口径和积分时间不变的情况下，目标的灰度和与照度成线性关系。

利用望远镜测量 CCD，采用图像处理的方法，即可以实现实时的星等测量。

测试时首先跟踪空间目标并记录下图像信息，图像的灰度信息代了表目标的照度信息；跟踪卫星前或跟踪完成后，沿卫星弧段扫描已知星等的恒星并记录恒星的图像；采用公式(3)计算出卫星的星等。

## 2.2 测量约束条件

### a) 图像灰度不饱和

目标图像灰度线性地表示了照度信息，为保证线性范围，要求衰减片和探测器积分时间设置适当，保证所采集的图像不饱和。记录恒星和卫星图像时，虑光片、积分时间设置等要一致。

### b) 目标图像灰度处理必须减背景，扣除背景对测量的影响。

### c) 恒星星等、位置条件

在系统探测能力范围内，选择恒星的星等分布应尽量宽一些，数量应尽量多一些；比对恒星的选择应尽量沿卫星经过弧段，太阳高角、大气背景、观测方位、仰角等条件基本一致。

### d) 同 1.3d)

## 3 实验结果

### 3.1 光度计法与 CCD 法光度测量精度比较

先用恒星互相标定的方法，验证测量方法的精度。即采用已知 G 型光谱类型星等的恒星，求出零等星的光子数或灰度和，再用该值计算其它已知星等 G 型光谱类型恒星的星等，最后与理论星等比较，检验该方法的有效性和测量精度。

根据照公式

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta m_i^2 / (n-1)} \quad (4)$$

可以计算出测量精度。光度计星等测量精度为  $0.25(1\sigma)$  星等, CCD 测量精度为  $0.22(1\sigma)$  星等。如表 1 和表 2。

表 1 光度计恒星光度测量结果

No.	Known stellar magnitude	Calculate zero stellar magnitude photons	Measure photons	Measure stellar magnitude
1	8.60	898699	430	8.33
2	6.27	1079810	3104	6.38
3	8.05	1115549	826	7.86
4	6.38	1130707	3140	6.42
5	7.30	1009492	1369	7.20
6	6.10	735839	4060	5.67
7	6.85	589160	794	7.20

表 2 CCD 恒星光度测量结果

No.	Known stellar magnitude	Calculate zero stellar magnitude photons grey summation	Satellite measure image grey summation	Measure stellar magnitude
1	6.52	115411	242.800	6.73
2	6.78	115411	224.093	6.81
3	5.75	92383	462.946	5.78
4	6.42	92383	301.772	6.24
5	5.89	92383	407.563	5.92
6	6.21	97921	439.107	5.90
7	6.48	97921	347.444	6.16

### 3.2 卫星星等测量

我们分别采用光度计和 CCD 对空间卫星目标进行了星等跟踪测量，由于光度计受背景光影响很大，不可能白天进行空间目标的光度测量；而 CCD 采用图像处理的方法，很容易克服白天天空背景的影响，因此可以白天、晚上全天时测量空间目标的光度数据。试验设备通过采用科学级 CCD、光谱滤波、精密跟

踪、变积分时间等措施, 采用 CCD 跟踪测量卫星的能力达到白天 7 星等、夜晚 13 星等动态范围。图 2、图 3 分别是采用光度计和 CCD 测量方法晚上测得的不同卫星的光度星等数据。图 4、图 5 是采用 CCD 测量方法白天测得的同一个目标的相隔几天的两次测量的星等数据, 从图中的可以看出两次结果几乎相同, 说明具有较高的测量精度。

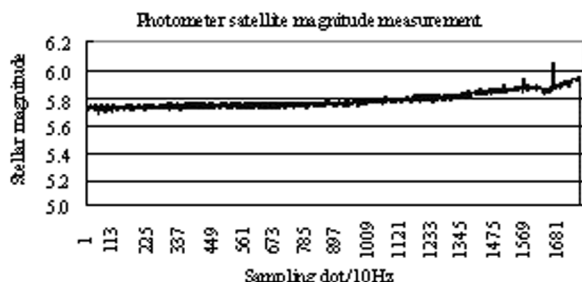


图 2 光度计卫星星等测量曲线

Fig.2 Photometer satellite magnitude measurement curves

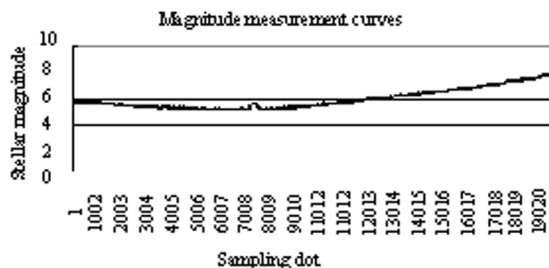


图 3 CCD 卫星星等测量曲线

Fig.3 CCD satellite magnitude measurement curves

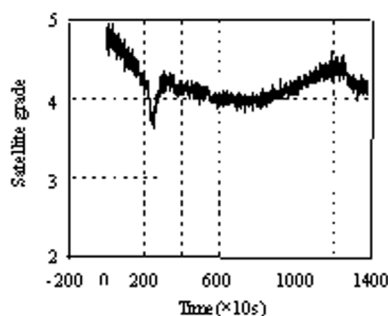


图 4 卫星第一次白天星等变化曲线

Fig.4 Satellite daytime change curves for the first time

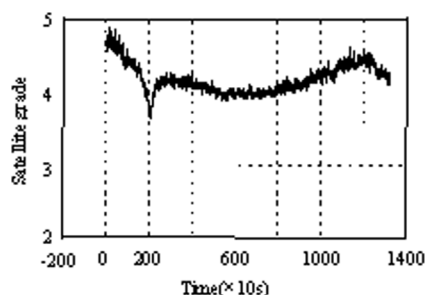


图 5 卫星第二次白天星等变化曲线

Fig.5 Satellite daytime change curves for the second time

## 4 结 论

文章总结了光度计和 CCD 两种测量空间目标光度特性的测量方法, 并采用恒星比对的方法, 得到了空间目标的星等数据, 实验结果表明两种测量方法星等精度相当, 但 CCD 测量可以在白天测量空间目标的光度特性, 因此 CCD 测量方法的动态范围要比光度计动态范围宽; 另外, CCD 测量方法, 可以方便地采用光谱滤光片对空间目标感兴趣的波段进行光度测量; CCD 测量方法标校简单, 采用图像处理手段扣除背景影响, 不需要沿路径回扫; 通过改变滤光片、衰减片、积分时间等手段方便实现所需的动态范围。受 CCD 采样频率的限制, 采样频率一般不会超过 50Hz, 而光度计的采样频率可以达到 100Hz。光度计属于单元探测器, 为了扣除背景影响, 需要事后回扫, 增加了数据处理时间。

### 参考文献:

- [1] Goglewski John D, Highland Ronald G, Dayton David C, et al. ADONIS: Daylight Imaging through Atmospheric Turbulence[J]. SPIE, 1996, 2827: 152-161.
- [2] Rork E W, Lin S S, Yakutis A J. Ground-based electro-optical detection of artificial satellites in daylight from reflected sunlight[R]. USA: Air Force Research Laboratory, 1982.
- [3] 朱耆祥. 白天用 CCD 摄像机对天体目标的探测及实验[J]. 光电工程, 1995, 22(6): 1-10.  
ZHU Qi-xiang. Detection of Celestial Objects by CCD Camera in the Daytime and the Related Experiments[J]. Opto-Electronic Engineering, 1995, 22(6): 1-10.