

# 关于云南天文台 1m 望远镜 新 CCD 照相机的某些性能

姚保安<sup>1</sup> 胡毅<sup>2</sup> 林清<sup>1</sup>

(1. 中国科学院上海天文台, 上海 200030; 2. 中国科学院云南天文台, 昆明 650011)

## 提 要

云南天文台 1m 镜原有的 Tek CCD, 于 2008 下半年损坏, 换用了新的 Andor CCD 照相机。共进口了相同的两架。其中第二架在该台 60cm 望远镜上使用。测试了它们的某些性能。包括这两架 CCD 照相机的增益 (gain), 读出噪音 (readout noise), 线性和快门函数, 以及散射光的影响。结果表明: 线性极好, 非线性小于 (0.1 ~ 0.3)%; 但快门运动不稳定。#1 CCD 的快门函数在不同夜晚的测定并不相同, #2 CCD 的快门运动在同一夜晚都不重复, 无法使用快门函数对短露光做改正, 要使快门函数的影响小于 1%, 需长于 2s 的露光; 散射光的影响明显, 晨昏蒙影与夜天平场的系统差可  $\geq 2\%$ , 对比以前的 CCD 观测, 问题显然来源于新 CCD 照相机本身。

关键词: 天文望远镜 — CCD 照相机 — 增益 — 读出噪音

分类号: P111.21, TN386.5

## 1 引 言

云南天文台 1m 反射望远镜原来配备的 Tek 1024 CCD 在 2008 下半年损坏。此后进口了两架相同的 Andor 2048 CCD 照相机。其中的第二架曾在该台的 2.4m 望远镜上使用, 后来安装在该台 60cm 镜上使用。我们测定了这两架 CCD 的增益 (gain), 读出噪音 (readout noise), 线性和快门函数, 以及散射光的影响。所用的方法和结果在第二节叙述。简短的讨论在第三节。

## 2 方法和结果

Andor CCD 照相机为科学级。有  $2048 \times 2048$  个像元, 像元大小为 13.5 微米见方, CCD 采用半导体制冷时, 工作温度为  $-55^{\circ}\text{C}$ 。在本文中, 我们把用在 1m 镜的 CCD 称为 #1, 用在 60cm 镜上的, 称为 #2。

### 2.1 CCD 的某些性能

(a) 本底 (bias) 及其图案 (pattern)

Andor CCD 的本底只有很弱的图案, 见图 1。整幅图像的变化  $\leq 0.5$  adu, 沿图 1 的对角线的扫描, 见图 2。对有些应用, 在减本底时, 把本底作为一个常数是可行的。但这个 CCD 没有

overscan 区,这是它的缺点。实测表明,在 6h 的观测过程中,本底的零点漂移达 2adu,因此经常拍摄 bias 监测它的变化是必需的。不言而喻,这当然也很麻烦。

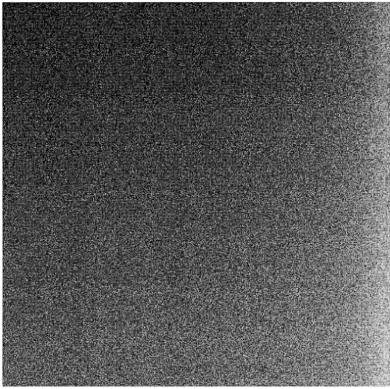


图 1 Andor CCD 的 bias 像  
Fig. 1 The bias of Andor CCD

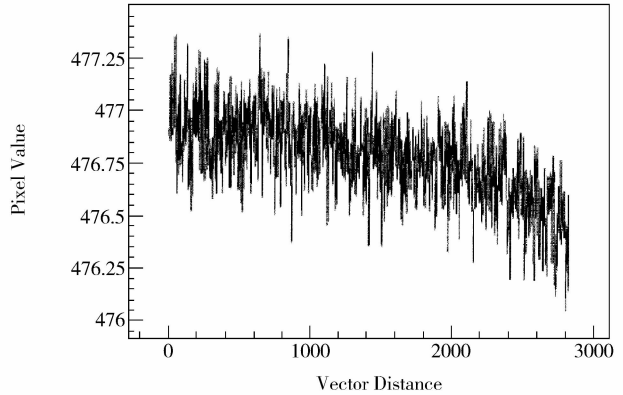


图 2 沿图 1 对角线的扫描  
Fig. 2 The scan along the diagonal of figure 1

(b) 增益(gain)和读出噪音(readout noise)

云南台对外开放使用时,选用增益为 2 挡,读出速度为  $2 \mu\text{s}/\text{pixel}$  (每整幅读出时间 9 s)。我们具体的测试结果为:对 #1,  $\text{gain} = 2.8 \text{ e}/\text{adu}$ ;  $\text{readout noise} = 8.2 \text{ e}$ 。对 #2,  $\text{gain} = 2.6 \text{ e}/\text{adu}$ ;  $\text{readout noise} = 7.9 \text{ e}$ 。

(c) 线性

对所使用的增益,Andor CCD 有很好的线性。直到 65513 接近数字饱和,非线性  $\leq 0.1\%$   $\sim \leq 0.3\%$ 。

首先,关闭圆顶天窗,用圆顶平场做常规的“露光 - 计数曲线”(transfer curve),对两架 Andor CCD 都有好的线性,见图 3 和图 4。

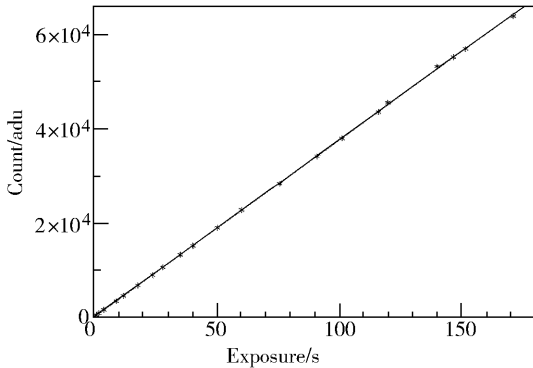


图 3 #1 CCD 的传递曲线  
Fig. 3 Transfer curve of #1 CCD

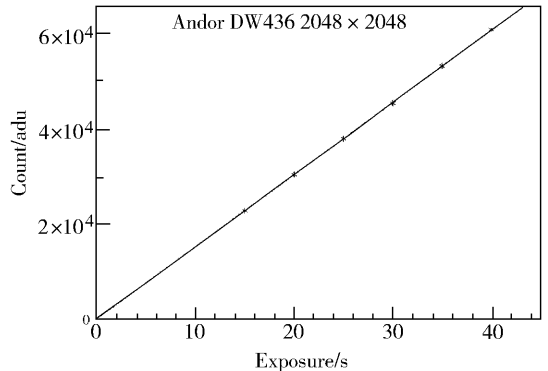


图 4 #2 CCD 的传递曲线  
Fig. 4 Transfer curve of #2 CCD

由于上述曲线是由有限的点数组成,并且是缩小了印出,要判断其非线性是否  $\leq 0.1\%$  或者  $0.3\%$  是不可能的。为了判断线性是否好到  $\leq 0.1\%$  或者  $0.3\%$ ,我们使用了文献[1]中的方法,利用圆顶平场光源照度的不均匀进行分析。1m 镜的圆顶平场光源照度很不均匀,图 5

是在一幅圆顶平场像上,沿对角线的扫描,可见其不均匀性 $\geq 20\%$ 。对于天体测光,这样的平场当然不好,但是对判断非线性却极有帮助。把不同露光时间的圆顶平场像,彼此两两相除(当然先减 bias,并且改正快门效应),任何 $\geq (0.1 \sim 0.3)\%$  的非线性,都会在两两相除的商像上显露。用黑白显示商像,会看到不均匀的黑度;最好是用伪彩色显示,非线性在计算机屏幕上显示不均匀颜色。而这里两两相除的商像是均匀的黑度,见图 6。沿图 6 的扫描,变化小于 0.1%,个别点 $\leq 0.3\%$ 。

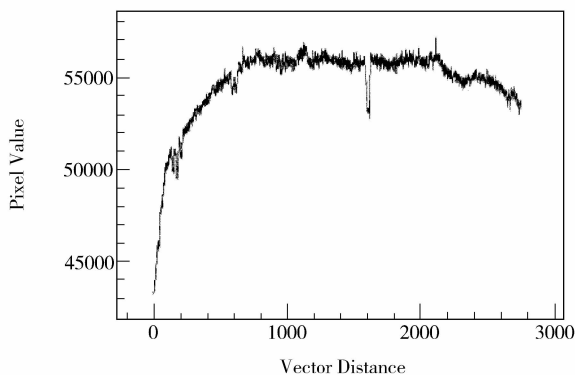


图 5 圆顶平场像对角线的扫描

Fig.5 Scan along the diagonal of a dome flat

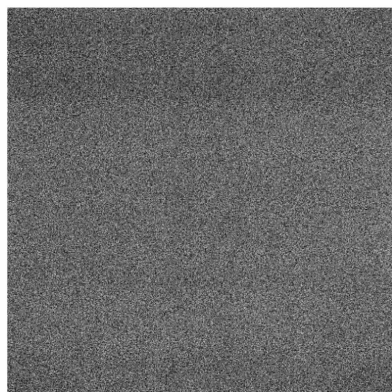


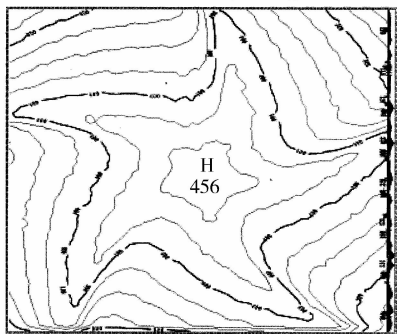
图 6 两幅圆顶平场像之商

Fig.6 Quotient of one dome flat divided by another

(d) 快门函数

仍采用 Stetson<sup>[2]</sup>的方法测定. 因为是常规,不再给出快门函数像,对于#1 CCD,只列出它的等光图,见图 7。它是 5 月 1 日测定的。图中各等值线的间隔为 0.002s,中心与边角的最大差别约为 0.019s。但在等值线为 400(0.04s) 所围绕的区域内,中心与各点的露光时间相差小于 0.0056s。要使整幅图各点受快门函数的影响小于 1%,露光时间需大于 2s。在同一晚上的测定,#1 CCD 快门的叶片运动是高度可重复的。我们独立测了两次快门函数,它们彼此相同。做两个快门函数之差,为一均匀的像,见图 8。对图 8 的扫描可知,差别 $\leq 0.001s$ 。

Shutter function 快门函数



Contoured from 0.0 to 0.054, interval=0.002, labels scaled by 10000

图 7 #1 CCD 快门函数的等值图

Fig.7 Contour of the shutter function of #1 CCD

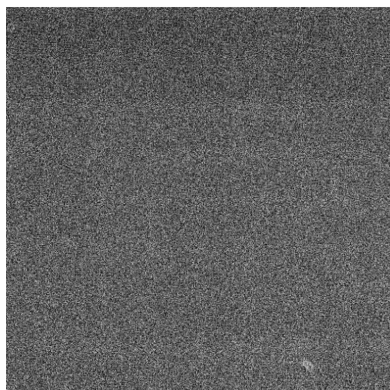


图 8 两次独立测定的快门函数之差

Fig.8 The difference between two shutter functions obtained independently

但#2 CCD 的快门不同。虽然它是同时买来的,但它的叶片运动不重复。我们连续做0.1s 露光 10 次,其中有 3 次互相彼此一致,另外 4 次是另一种彼此一致,其余 3 次完全不一致。用彼此一致的可得出两个快门函数,做其差,便得图 9。图 9 的等光图见图 10 (注意图的中间为负值)。<#2CCD 没有稳定的快门函数。不知是进口了有毛病的快门,还是以后损坏的。为避免受其影响,用户只能使用长于 2s 的露光。

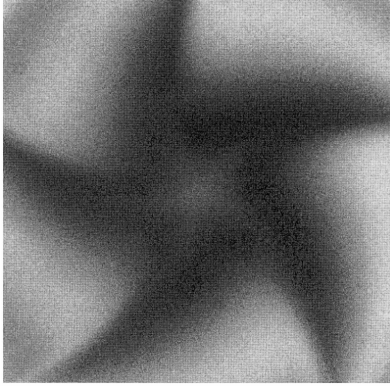


图 9 #2 CCD 的两个快门函数之差

Fig. 9 The difference between two shutter functions of the #2 CCD

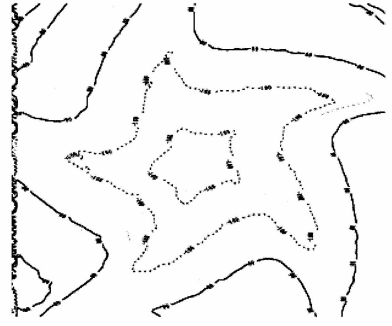


图 10 图 9 的等值图

Fig. 10 Contour of figure9

不幸的是,在我们观测的不同夜晚,#1CCD 的快门叶片运动并非永远重复。处理时发觉,只有 4 月 29 日的与 5 月 1 日的一致,其它几夜都不同。图 11 显示了 5 月 3 日的测定与前者之差。图 12 为对图 11 的扫描。因此对#1CCD,如果要对短露光改掉快门影响,看来需实测当天的快门函数。

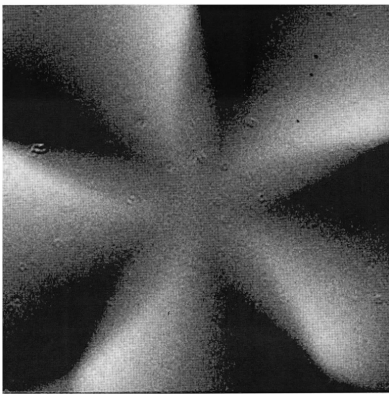


图 11 不同夜晚测定的两个快门函数之差

Fig. 11 The difference between two shutter functions obtained at different nights

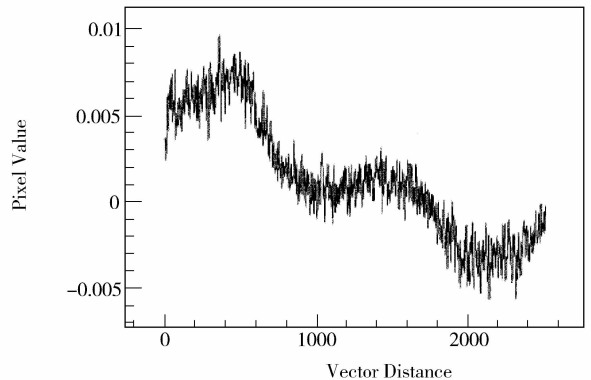


图 12 对图 11 的对角线扫描

Fig. 12 Scan of figure11

## 2.2 散射光的影响

我们在文献[3]中曾经指出,“……CJLOA的3架光学反光镜都有标准设计的挡光筒,

2. 16m 的散射光影响最大,而 1m 镜的最小”。“理由非常简单。因为 Zeiss 1m 为世界上少数几架反光镜之一,它不但有通常标准的主付镜挡光筒,而且它像折光镜一样被厚的金属筒包起来。此外,它的 CCD 相机是小心设计的(1997 年照相机曾漏光)”。为了证明散射光“1m 镜的最小”,当时连续拍摄一系列晨昏蒙影平场,露光时间由短到长,短的可到 1s,长的可到 300s,600s,甚至 900s(长露光时望远镜进行跟踪)。改正了快门计时误差后,将这些平场像彼此相除。对 2004 年 5 月 25 日的露光系列,天空亮度在露光 1s 时是露光 900s 时的 6900 倍,但它们相除的商像(见该文的图 2a)是平的,不均匀小到 0.1~0.2%。

本来以为换成 Andor CCD 照相机后,散射光的影响仍然可以忽略。可惜情况不是如此。2009 年 5 月 3 日拍摄了由 0.5s 到 600s 的长短晨昏蒙影系列。处理时才发觉,在天空亮度由亮变暗的过程中,相邻的两幅平场,亮度只变化了不到一半,相除的商都会显出不均匀(主要是梯度),直到 450s 露光后,相邻两幅平场之商的不均匀才 <0.5%,见图 13。它是露光 600s 与 450s 的两幅平场之商,图 14 是沿图 13 对角线的扫描。而 1s 与 600s 的两幅平场之商,显出梯度,见图 15,图 16 是图 15 对角线的扫描。它提示我们,高精度的平场只能由夜天光平场得到。

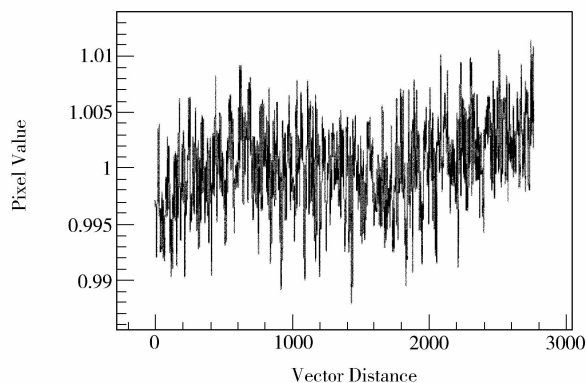
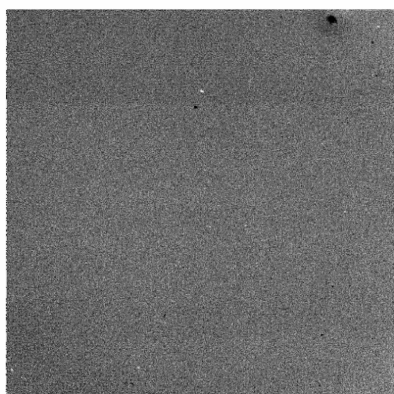


图 13 两幅长露光的晨昏蒙影平场之商  
Fig. 13 The quotient of two twilight flat fields with long exposures

图 14 沿图 13 对角线的扫描  
Fig. 14 Scan along the diagonal of Fig. 13

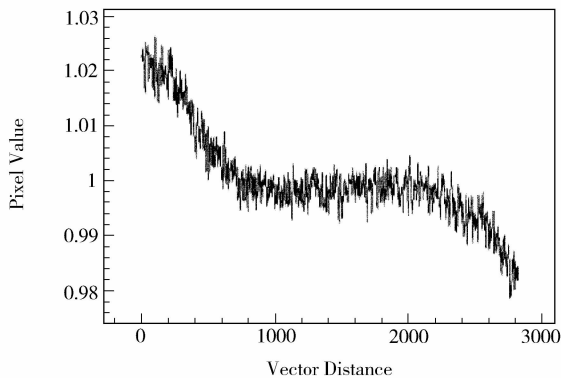
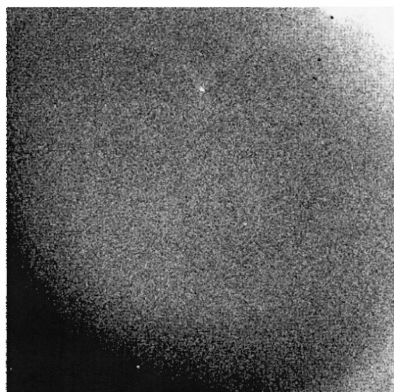


图 15 两幅晨昏蒙影平场之商, 一幅露光 1s,另一幅 600s  
Fig. 15 The quotient of two twilight flat fields, one exposure is 1s and the other is 600s

图 16 沿图 15 对角线的扫描  
Fig. 16 Scan along the diagonal of Fig. 15

图 15 所显示的情况并非偶然,2009 年 4 月 29 日到 5 月 5 日,共观测了 5 夜,每个晚上的晨昏蒙影平场,虽然不是长短晨昏蒙影系列,但是相邻的两幅之商,都显示出类似结果。

### 3 简短的讨论

(1) Andor 照相机所用的 CCD 芯片和放大器的电路是很好的。但是快门运动不稳定。这与已损坏的 Princeton Instruments 公司生产的前 CCD 照相机大不相同。从 1998 到 2008 的 10 年间,只发现后者快门的左下角有小的不重复,其它部分是完全可重复的。

(2) 因为 1m 镜本身并无任何改变,所以散射光影响变大的原因,只能从新装的 CCD 照相机上去找。

#### 参 考 文 献

- [1] Yao B A, Zhang C S, Lin Q. Chin. J. Astron. Astrophys. 2004, 4(4): 397
- [2] Stetson P B. Highlights in Astronomy, 1989, 8: 638
- [3] 姚保安, 张春生, 沈昌钧等. 天文学报, 2005, 46(3): 343

## PERFORMANCE STUDY OF THE NEW CCD CAMERAS OF YUNNAN OBSERVATORY

YAO Bao-an<sup>1</sup> HU Yi<sup>2</sup> LIN Qing<sup>1</sup>

- (1. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030;
2. Yunnan Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011)

#### Abstract

The original Tek CCD of the 1m reflector of Yunnan Observatory was damaged in the late 2008, and two new Andor CCD cameras were imported. The second one was once lent by the 2.4m reflector of the Observatory, and then is used at the 60cm reflector. The performance of both CCD cameras have been determined, including the gain, readout noise, linearity and the shutter function, as well as the influence of the scattered light. The results are: the linearity is better than (0.1 ~ 0.3)%, but the motion of the shutter is not stable, the shutter function of the #1 CCD determined at different nights are different, and the motion of the shutter of the #2 can not repeat even within one night. The exposure must be longer than 2s in order to let the influence of the shutter less than 1%; the influence of the scattered light is obvious, and the systematic difference between the twilight flat field and the night exposure is larger than 2%. Comparing to the previous CCD observations, it is obvious that the above problems come from the new CCD camera itself.

**Key words** reflector — CCD cameras — gain — readout noise