

# 1.56m 望远镜 #1 CCD 照相机 增益和读出噪音的重新测定

潘红 ■

(中国科学院上海天文台, 上海 200030)

## 提 要

上海天文台 1.56m 望远镜使用的 CCD 照相机是在 Lick 天文台用该台的控制电路组装的, 其原有的增益和读出噪音表, 也是于 2002 年在该台测定的。由于控制电路曾经维修过, 以及电路元件不可避免的老化, 增益和读出噪音值都有很多变化。因此于 2009 年 2 月和 3 月重新测定了该照相机的增益和读出噪音。结果表明, 左放大器的增益为 0 档, 读出速度为 medium 的组合, 右放大器的多种增益和读出速度组合, 新老测定值相差悬殊, 并且有的测定值不稳定。可能这些组合的电路元器件已接近损坏。

关键词: CCD — 增益 — 读出噪音

分类号: P111.4, TN386.5

## 1 引 言

上海天文台 1.56m 望远镜现在使用的 #1 CCD 照相机, 是在 Lick 天文台用该台的控制电路组装的。其原有的增益 (gain) 和读出噪音 (readout noise) 表, 也是于 2002 年在该台测定的<sup>[1]</sup>。由于控制电路曾经维修过, 以及电路元件不可避免的老化, 增益和读出噪音值都有了很大变化。因为增益和读出噪音是 CCD 的基本数据, 它对 CCD 的正确使用和估计测量误差极其重要。例如, 把多幅相同露光的圆顶平场像, 综合为一高信噪比的平均像, 在 IRAF 中最好的剔除野点的方法是 “ccdclip”, 这就需要准确知道 CCD 的增益和读出噪音值。又如, 在广泛使用的测光软件 DAOPHOT 中<sup>[2]</sup>, 为正确处理误差, 也要准确知道 CCD 的增益和读出噪音值。而根据用户反映, 有的增益和读出速度组合, 其数值已发生了很大变化。经常使用 “gain = 0, read speed = medium” 组合的用户反映, 2006 年 5 月该组合的增益值为  $4.6e^-/adu$ , 与 2002 年在 Lick 台的测定一致。但是在 2008 年 6 月, 该组合的增益值变为  $5.3 \sim 5.5e^-/adu$ , 2009 年甚至有迹象表明增益值可能大于 6。为了解有关情况, 我们在 2009 年 2 月和 3 月重新测定了该照相机的增益和读出噪音。测定所用的方法在第二节叙述。测定的结果见第三节。

## 2 方 法

傍晚给 CCD 杜瓦瓶加液氮,大约半小时后达到设定温度,再过一小时开始测试(此时, CCD 处于较稳定状态)。整个过程中没有出现诸如断电、补液氮等意外情况, CCD 工作温度处于  $(-100 \pm 1)^\circ\text{C}$  的良好状态。对每个增益和读出速度组合,使用 R 滤光片拍摄两幅本底(bias)和两幅圆顶平场像。用 Janesick 的方法,在 IRAF 中测量。该方法在 IRAF 的说明书中有详细叙述。我们在每幅 CCD 的像上取 11 个随机分布的小区,小区大小为  $100 \times 100$  像元,(避开坏像元),对每个小区运行 IRAF 中的命令“findgain”,求得增益和读出噪音,然后求出它们的平均值及其均方误差。#1 CCD 照相机有左右两个放大器(amplifier),可以同时使用。一般仅使用其中的左放大器,但是我们也测定了对应于右放大器的值。

## 3 结 果

### 3.1 多次测量结果比较

第一次测定是在 2009 年 2 月 2 日做的。结果表明,的确有不少组合的数值发生变化。因此,对某些组合又重复做了测定。所有的测量结果全部列于增益表(表 1)中,为了对比,把过去测定的结果同时列于该表中。

表 1 增益表(单位:  $e^-/\text{adu}$ )

Table 1 Table of gain

测定日期	Gain	左放大器			右放大器		
		Slow	Medium	Fast	Slow	Medium	Fast
	0	2.3	4.6	2.3	2.5	4.8	2.3
2002 年	1	1.1	2.2	1.2	1.2	2.3	1.1
	2	1.0	1.0	0.5	0.5	1.0	0.5
2009 年	0	$2.70 \pm 0.07$	$6.11 \pm 0.12$	$2.50 \pm 0.06$	$0.98 \pm 0.04$	$4.65 \pm 0.07$	$0.94 \pm 0.03$
2 月 2 日	1	$0.97 \pm 0.01$	$2.44 \pm 0.05$	$0.92 \pm 0.03$	$0.48 \pm 0.02$	$0.89 \pm 0.03$	$0.44 \pm 0.01$
	2	$0.38 \pm 0.01$	$0.81 \pm 0.01$	$0.35 \pm 0.01$	$0.52 \pm 0.01$	$0.41 \pm 0.01$	$0.50 \pm 0.02$
2009 年	0		$6.2 \pm 0.06$		$2.42 \pm 0.06$	$4.65 \pm 0.08$	$2.47 \pm 0.11$
2 月 27 日					$2.43 \pm 0.05$		$2.58 \pm 0.08$
(每档增益的第二行为 6 小时后 再测)	1				$0.51 \pm 0.01$	$2.24 \pm 0.06$	$1.35 \pm 0.13$
	2				$0.49 \pm 0.01$	$1.00 \pm 0.02$	$0.52 \pm 0.01$
					$0.12 \pm 0.01$	$0.98 \pm 0.02$	$0.21 \pm 0.01$
						$0.43 \pm 0.01$	
2009 年	0				$2.43 \pm 0.04$	$4.46 \pm 0.05$	$2.63 \pm 0.16$
3 月 11 日	1					$2.24 \pm 0.04$	$0.52 \pm 0.01$
	2				$0.05 \pm 0.01$	$0.99 \pm 0.02$	$0.23 \pm 0.02$
2009 年	0	$4.84 \pm 0.08$	$9.26 \pm 0.20$	$4.47 \pm 0.07$	$5.37 \pm 0.09$	$10.31 \pm 0.22$	$6.17 \pm 0.08$
3 月 19 日	1	$2.32 \pm 0.03$	$4.45 \pm 0.06$	$2.29 \pm 0.06$	$2.54 \pm 0.02$	$4.88 \pm 0.04$	$3.59 \pm 0.37$
(#2 CCD)	2	$1.02 \pm 0.01$	$1.96 \pm 0.02$	$0.99 \pm 0.03$		$2.19 \pm 0.03$	$2.33 \pm 0.29$
2009 年							
6 月 10 日	1				$0.41 \pm 0.03$	$2.23 \pm 0.03$	

2002 年测定的增益表,测量值只给到小数点后一位。但是对于许多增益和读出速度组合,根据我们测量的均方误差判断,11 个小区的测量很一致,因此给到小数点后两位。2009 年 2 月 2 日测定的读出噪音列于整机读出噪音表(表 2)中,2002 年结果也同时列出。

表 2 整机读出噪音表(单位:  $e^-$ )

Table 2 Table of readout noise

测定日期	Gain	左放大器			右放大器		
		Slow	Medium	Fast	Slow	Medium	Fast
2002 年	0	4.7	7.9	21.6	5.7	10.1	31.2
	1	4.5	7.2	21.9	5.1	9.2	30.5
	2	4.8	7.4	21.0	3.9	6.0	18.6
2009 年 2 月 2 日	0	6.6 ± 0.3	13.1 ± 1.2	34.2 ± 4.9	3.8 ± 0.3	16.7 ± 2.0	20.6 ± 1.8
	1	4.9 ± 0.2	9.8 ± 1.1	21.9 ± 5.9	3.0 ± 0.4	5.4 ± 0.9	13.0 ± 4.2
	2	3.1 ± 0.4	4.4 ± 0.5	8.3 ± 0.2	9.3 ± 1.2	4.9 ± 1.9	19.7 ± 4.4

由表 1 和表 2 可知,由于电子元器件不可避免地老化,以及放大器曾经被维修过。2009 年的测量值与 2002 年的测定有变化,这是很自然的。位于智利的欧洲南方联合天文台,定期检测它们的 CCD 的性能<sup>[3]</sup>,当时,每星期检测一个 CCD<sup>[4]</sup>。

对比前后的测定可以了解以下情况:

(1) 对于常用的左放大器中的增益 0 档和 1 档,读出噪音比原来的测量值大(这很正常,我们用过的国内各天文台的 CCD,随着时间的推移,读出噪音都有不同程度的变大)。但是对我们基本不使用的 2 档(gain = 2),2009 年的测量值却比以前的小。

(2) 对于很少使用的右放大器,前后的读出噪音测量比较,有的变大(gain = 0, read speed = medium; gain = 2, read speed = slow),其它各档次的测量值都比 2002 年测量的的小。

(3) 至于增益的测量,对左放大器而言,除了各档次的测量值都有小的变化外,最意外的是常用的 gain = 0, read speed = medium,由 4.6 变成 6.1,变化太大。2009 年 2 月 27 日再次测定,增益为 6.2 ± 0.06。几次测量的结果类似,绝不是测量误差,而是电路元件的性质在缓慢变化。但在同一夜的观测过程中,尚未发现增益值有变化。虽然还未到更换电路板的地步,但在处理 CCD 的观测资料时,必需采用新的增益值。当然还需要密切监测它的未来变化,最好是及早更换新的电路板。

(4) 对右放大器所做的增益测量,令人费解。只有 gain = 0, read speed = medium; gain = 2, read speed = slow; 以及 gain = 2, read speed = fast 这三种组合与 2002 年的测定比较,变化较小,其它各档次的测量值,与 2002 年的测定相差悬殊。为了核实,我们对有的组合做了再测定。2009 年 2 月 27 日对左放大器的 gain = 0, read speed = medium 组合的测定,已在上面给出。对右放大器再做的增益测量,列于增益表中。对某些组合,该夜的测量做了两次,一次在上半夜,另一次在相隔 6 小时后的下半夜。由表可见,增益为 0 档的快中慢三种读出速度的测定值,不但中速读出的值与 2002 年的测定相近,慢读和快读的测定也与 2002 年接近。而且上下半夜的两次测定值,在误差范围内相同,似乎很正常。增益为 1 档的快中两种读出速度,和增益为 2 档的中速读出,在上半夜的测量值,量级上与 2002 年的测定也相近,但是下半夜的测量值,

全都比上半夜的一半还要小! 对于增益为 1 档的慢读出, 上下半夜的两次测定值, 虽然在误差范围内相同, 但是比 2002 年的测量值的一半还小。至于增益为 2 挡的快慢两种速度读出, 测量值竟然小到 0.21 和 0.12!

为了进一步核实, 2009 年 3 月 11 日再次对右放大器做了增益测量, 结果列于增益表中。这一次, 反常的是增益为 1 档的快速读出(仅为 2002 年的一半), 以及增益为 2 档的快慢两种速度读出(慢速的小到 0.05! 快速的小于一半)。

为了核查增益值的变化, 我们于 2009 年 6 月 10 日再次对右放大器增益 1 档的中速读出做了测定。为了对比, 同时对 1 档的慢速读出也做了测定。从天黑后北京时间 20<sup>h</sup> 测到凌晨 3<sup>h</sup>, 共分别测了 20 次, 方法和前述相同, 各次测量的均方误差都是 0.03 左右。平均增益值列于表 1 中。

分析以上测定结果可知, 对于中速读出, 2009 年 6 月 10 日的测定与同年 3 月 11 日, 以及 2 月 27 日上半夜的结果一致, 也与 2002 年的测定一致, 都在 2.24 附近, 没有发生 2 月 27 日下半夜的突然减小到 1.00(注意 2 月 2 日的测定为 0.89, 与 1.00 相近)。对于慢速读出, 6 月 10 日的测定比 2 月 2 日和 2 月 27 日的结果稍稍偏小, 但数量级是相同的, 它们都比 2002 年的测定值(1.2)的一半还小。

### 3.2 用#2 CCD 的放大器测定

因为#2 CCD 是备用 CCD, 我们尝试了把它的放大器用在#1 CCD 上。试验是在 2009 年 3 月 19 日做的。测量的结果列于表 1 中。由于没有 2002 年的数据作为对比, 不知道这些测量值是否正常。但是它们看来都偏大。#2 CCD 的放大器能否用在#1 CCD 上, 我们尚有疑虑。

## 4 结 论

连续多次测量的结果表明, 我们的测量方法正确, 结果可靠。不同时间所测增益值的变化, 只不过表明了变化有一定的随机性。我们的判断是, 因为放大器的各档增益和读出速度所用的电器元件是相对独立的, 有的元件可能已到了损坏前的临界状态。但要准确确定那个电器元件出问题, 需要在 Lick 台那样的 CCD 实验室中进行。

### 参 考 文 献

- [1] 陶隽, 俞健, 钱伯辰等. 中国科学院上海天文台年刊, 2003, 24: 75
- [2] Stetson P B. PASP, 1987, 99: 191
- [3] Warmels R, Abbott T. MIDAS Courier, 1994, 4(1): 11
- [4] Abbott T. In: Davis P A G *et al.* eds. IAU symposium No. 167, New developments in Array Technology and Applications, 1995, 343

# RE-DETERMINATION OF THE GAIN AND THE READOUT NOISE FOR THE #1 CCD CAMERA OF THE 1.56m REFLECTOR

PAN Hong-jian

(Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030)

## Abstract

The CCD camera of the 1.56m reflector was built at Lick Observatory on the basis of the observatory's control electronics design. The gain and the readout noise of the camera were also determined at Lick Observatory in 2002. Because the controller was repaired since 2002 and the electronics are ageing inevitably, the gain and the readout noise have changed obviously. Therefore, the re-determination was made in February and March of 2009.

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