



AN UNCONVENTIONAL REVIEW

从数码单反相机用户的观点看QHYCCD制造的天文相机

QHY163M CMOS CAMERA



不同的观点

如果您使用数码单反相机进行深空天文摄影，您可能会倾向于移动到专用天文摄像机，以提高对H- α 线的敏感度并降低热噪声。但是，当您离开您的单反相机时，您也将离开您的舒适区域。你应该如何处理那些名为增益和抵消的花哨的东西？它们与您所熟知的ISO感光度与您所选择的曝光时间和噪音如何相关？

这是一个相当非常规的审查。虽然我涵盖了QHY163相机的所有基础知识，但我强迫自己站在数码单反相机的所有者的角度来回答以下问题：

★一半时间内如何更改获取相同曝光的增益？

★使用单反相机，我可以权衡动态范围内的读取噪声。这是一个天文摄像机吗？

★抵消如何影响曝光？如何设置它与增益的关系？

★读取噪声的大小是多少？或者更好的是，天空限制的最低曝光时间是多少？



Z ABOUT THE AUTHOR

我的名字是Alessio Beltrame，我住在意大利东北部，我出生于1966年。我的教育包括一个5年工程学士学位（MS等同）和人工智能应用于电子设计的论文，但我一直迷恋物理和天文学，甚至在上小学之前。

我也被摄影所吸引，对足球特别感兴趣。这是摄影机技术知识与操作背后的物理学与艺术方面同样重要的类型之一。在过去的两年中，我终于找到了时间和动机，将我的童年激情：天文学中的摄影与科学相结合。

凭借深厚的科学/技术背景，我无法抗拒在我的相机内部找出快门点击的情况。



Z COPYRIGHT & DISCLAIMER

本文包含的所有文字，图片和照片（QHY163M的框图除外）均为作者的财产，并经Creative Commons License CC BY-NC-SA授权。

而我尝试尽可能准确地测试相机并报告结果，我不能保证100%的准确性。

本文档的内容按原样提供，没有明确或隐含的保证。

因此，由于陈述陈述的任何后果，本公司概不负责。

无论您使用本文档提供的信息如何，请自行使用。

本出版物不由QHYCCD或任何其他供应商以任何方式提供或支持。



我如何到QHY163M

在这个领域不到两年的经验，我对天文摄影相对较新。像大多数业余爱好者一样，我与佳能7D Mark II（7D2）开始成像，与同行相比，这是一个很好的表现。但是，我主要对深空物体感兴趣，发射星云是我最喜欢的目标。不幸的是，与天文相机相比，这是7D2相对较低的地方，因为它对H-alpha的敏感度很低，而且热噪声（即使在午夜时也是25-27°C的环境温度，在热的意大利夏天，你很幸运 如果您能保持传感器的温度低于35°C）。再加上意大利北部天空的恶劣光污染，你将会移动到CCD摄像机¹。或不？

那么在DSO成像中有一个新的孩子。QHYCCD和ZWO现在提供了从底层设计用于DSO成像的冷却CMOS摄像机。我发现这个想法很有趣。经过一些在线研究，并与SkyPoint的Mauro Narduzzi（参见参考资料）进行了非常富有成果的交谈，我购买了一台QHY163M单声道CMOS摄像头

一旦我把它带回家，天气从晴天变成雨天（根本就没有什么惊喜）。但是，嘿，这是一个很棒的机会把新的相机进行测试，并从中学到一些东西！

在我购买之前，我浏览了网络，并在QHY163M上发现了一些测量。我想检查这些报告，并验证制造商提供的规格。但是比其他任何事情更重要，我想学习如何在现场使用它，以及它如何与我的7D2进行比较。作为业余爱好者（白天）的摄影师，我觉得在家里有诸如孔径，快门速度和ISO设置。经过多年的摄影，他们已经成为第二大自然。

但是，这些数字与那些名为GAIN和Offset的花哨相关呢？不要误会我：我完全理解传感器增益的物理含义和偏移量，我甚至写了一本关于该主题的小册子（对不起，意大利语）。CMOS摄像机的GAIN和DSLR的ISO都是传感器中信号的电放大的表达。然而，GAIN和ISO以不同的方式影响放大。

当您习惯了数码单反相机时，您可以将曝光时间缩短一半，反之亦然。但是，QHY163M的增益可以通过不同的方式工作，并将曝光时间加倍，您必须将GAIN降低60。

这是我在测试QHY163M时学到的经验之一。我决定与拥有或对QHY163M或类似摄像机（如ZWO ASI1600M）感兴趣的所有业余天文学家分享我所学到的知识。

这就是这个文件的全部内容，对于那些从单反相机到天文摄影机的天文摄像机来说，这应该是特别吸引人的。

我希望你会发现它很有用。请享用。

¹当然，可以修改其单反相机来提高H-alpha灵敏度。也可以安装冷却系统。对我来说，这是完全无意义的，特别是当应用于专业或半专业的单反相机（如7D Mark II）时。但是，即使您准备好折算白天的色彩平衡和使用2,000 \$相机显示的功能，您必须考虑到全新的改装将与新的QHY163M一样昂贵。此外，除非您的修改包括删除拜耳过滤器，否则您的OSC（One Shot Color）单反相机在信噪比方面将无法与单色相机竞争，即使在LRGB模式下，更不用说窄带。



测试程序

规格和测试

QHY163M是天文冷却摄像机，属于QHYCCD的CMOS摄像机COLDMOS系列。在寿命长于典型消费品的市场中，QHY163M是相当新的产品，自2016年以来在市场上。

相对于CCD在传感器技术上占据绝对份额的天文摄像机的普遍趋势，QHY163M基于松下MN34230 CMOS传感器，4/3“芯片，具有 3.8μ 像素和1600万像素分辨率。通过基于两阶段珀耳帖系统的热电冷却系统（TEC）实现相对于环境温度降低到 -40°C 。

QHYCCD提供的驱动程序允许设置几个参数，包括：

- ★ **GAIN**：它允许设置传感器的增益，即电子和ADU之间的比例，
- ★ **Offset**：基本上这是一个常数，它被添加到每个像素的读数，以避免由于噪声而削波到零；该常数也称为基座或偏置；
- ★ **USB流量**：允许通过USB端口调整数据传输速率（最新的SDK更新后，仅适用于视频采集，其中最大帧速率至关重要 - 主要是高分辨率成像，如月球和行星）。

我测试了传感器的以下特性：

- ★ 线性
- ★ 读出噪音（RON）
- ★ 热噪声（暗电流）
- ★ 全阱容量（FWC），即在给定增益下可以“拟合”到像素中的最大电子量
- ★ 动态范围，即最大信号与本底噪声之间的比值
- ★ 增益，即在像素的阱中收集的电子与ADU（模数 - 数字单元，也称为DN数据编号）之间的对应读数之间的比率。

S

注意：请勿将增益与相机驱动程序中相应的增益参数混淆。为了清楚起见，我将小写写入电转换率（增益），大写写驱动器参数（GAIN）。

已经针对不同的GAIN和Offset组合测量了上述物理量。



测试条件

我进行了将QHY163M连接到QHYFCW2-M滤光轮和Takahashi FSQ-85EDX折射仪（f / 5.3）的所有测试。我的目标是将Tak置于由恒定光源照亮的白色均匀的表面。对于所有曝光，我使用了Astronomik L-2亮度滤光片（36 mm）。

我与我的佳能EOS 7D Mark II进行了相同的测试，连接到EF 70-200L f / 2.8 USM IS II远摄变焦，设置为f / 4，并在相同的照明条件下瞄准同一表面。

LINEARITY

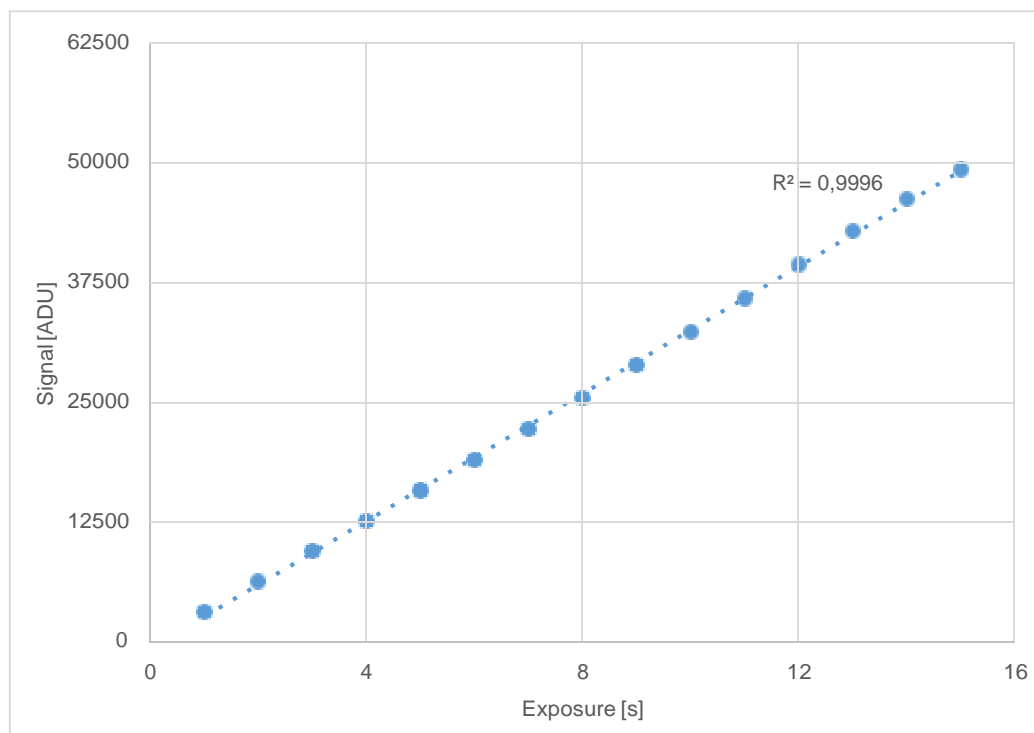
为了评估线性度，我采取15次增加时间的曝光，以覆盖传感器的整个输出范围（ADU输出以16位表示，因此实际输出范围为0-65535 - 然而传感器的ADC为12位，请参考12位ADC，16位读数，以了解ADC的12位输出如何映射到16位ADU值）。通过Sequence Generator Pro编程了15个曝光的每个序列，以便最小化曝光之间的延迟并减少由于目标光源的变化引起的任何错误）。如果传感器是线性的，我们预期平均值与曝光时间成比例。

我运行3系列测试，使用不同组合的GAIN 和 Offset:

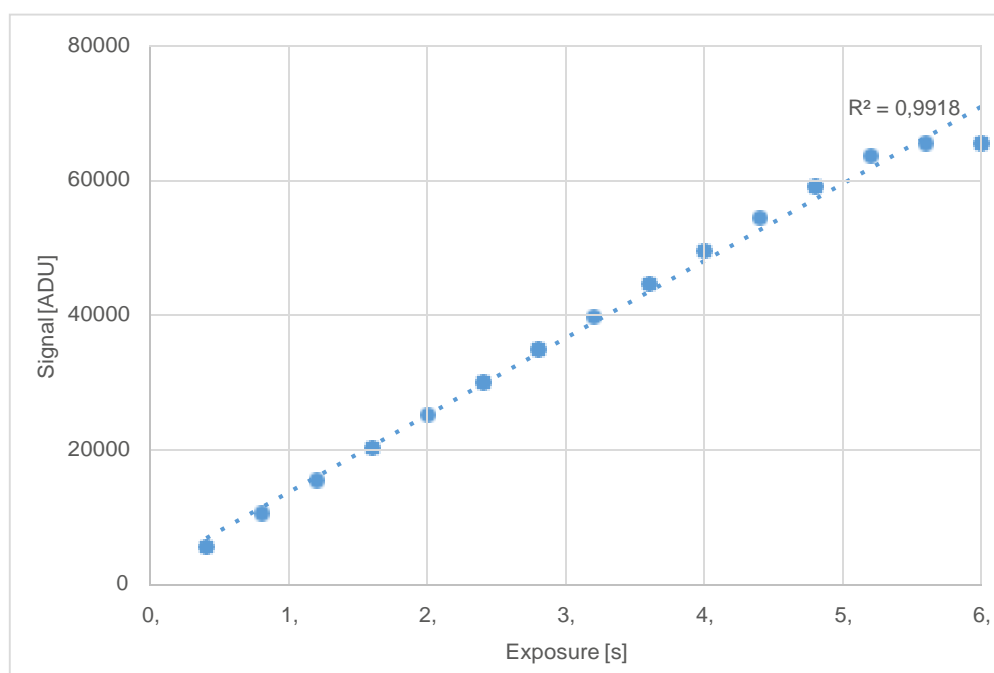
- ★ Gain = 0; Offset = 10
- ★ Gain = 120; Offset = 40
- ★ Gain = 300; Offset = 60

RUN 1: GAIN 0 - OFFSET 10

Exposure [s]	Mean [ADU]	Median [ADU]	Minimum [ADU]
1	3100	3104	160
2	6299	6320	160
3	9424	9456	160
4	12569	12608	160
5	15700	15760	160
6	18871	18944	160
7	22086	22176	160
8	25332	25440	160
9	28726	28886	160
10	32175	32336	160
11	35651	35824	160
12	39136	39376	160
13	42636	42864	160
14	45945	46192	160
15	49302	49296	160

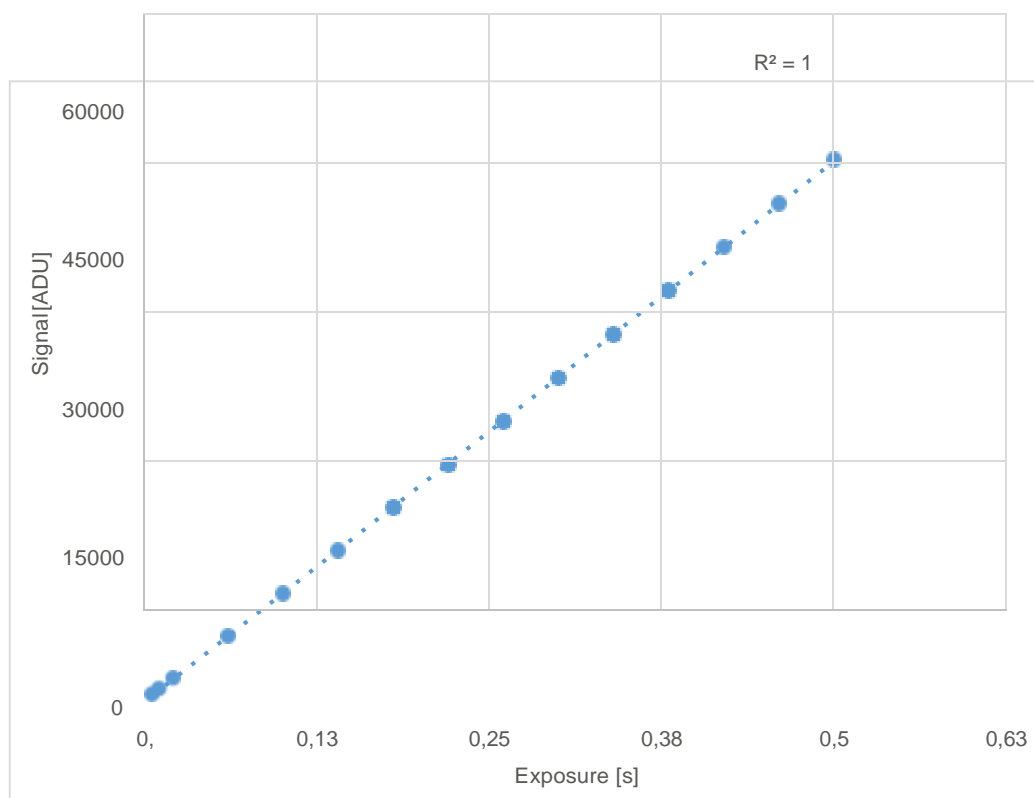
**RUN2: GAIN 100 - OFFSET 40**

Exposure [s]	Mean [ADU]	Median [ADU]	Minimum [ADU]
0,4	5554	5552	640
0,8	10492	10512	640
1,2	15419	15456	640
1,6	20259	20304	640
2	25085	25152	640
2,4	29952	30032	640
2,8	34793	34912	640
3,2	39629	39760	640
3,6	44501	44656	640
4	49342	49520	640
4,4	54118	54436	640
4,8	58890	59136	640
5,2	63345	63648	640
5,6	65397	65504	640
6	65485	65504	640



RUN 3: GAIN 300 - OFFSET 60

Exposure [s]	Mean [ADU]	Median [ADU]	Minimum [ADU]
0,005	1491	1472	16
0,01	2088	2000	16
0,02	3060	3040	16
0,06	7322	7312	960
0,1	11616	11600	960
0,14	15943	15920	960
0,18	20262	20256	960
0,22	24575	24560	960
0,26	28923	28912	960
0,3	33279	33280	960
0,34	37688	37680	960
0,38	42071	42080	960
0,42	46671	46480	960
0,46	50859	50880	960
0,5	55262	55280	960

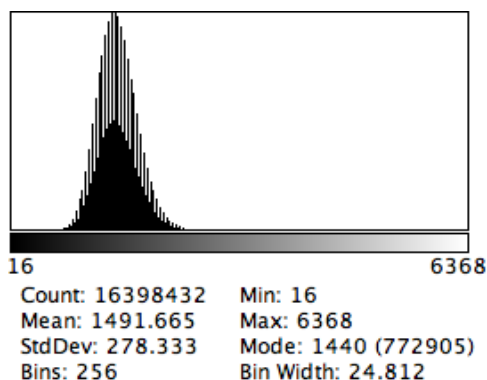


结果评估

传感器的线性似乎非常出色，无论选择**GAIN**和**Offset**。确定来自线性回归分析，其回归系数**R**基本上等于1（意味着数据样本与线性假设之间的完美对应关系）。

只有一个异常数据点（**GAIN 100 - Offset 40 - 曝光6秒**），但显然是由于**Full Well Capacity**限制（传感器的饱和度）。

有趣的是，运行3（**GAIN 300 - Offset 60**）中的3个数据点返回的最小值为16 ADU（适用于300 - 500个像素，可以认为是冷像素）。鉴于电子和ADU之间的关系，我将在此刻出现，这是一个异常行为，我无法找到完全令人信服的解释。此外，直方图似乎与原点明确分离，并且不会截断到左边，所以这并不明显与低偏移值有关。



我的猜测是，超短曝光有一些奇怪的事情（阅读：不准确光时间）。浏览**QHYCCD**论坛，您可能会发现建议对**Bias**框架使用0.3秒的曝光时间。参见下面的传感器基础知识。



测试报告 - 2

如何在ADU中进行翻译

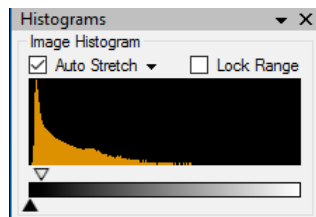
偏移调节的净效果是为ADU中表示的每个像素读数增加一个常数值。当信号和总噪声具有相当的幅度时，此值可用于防止零限幅（和随之而来的数据丢失）。如果您仔细查看上述数据表，很容易看出每次曝光的最小值不取决于曝光时间。这是Offset踢的地方，很明显每个曝光中的最小值由 $16 * \text{Offset}$ 给出。我们可以在下表中总结这个规则：

Offset	ADUs added to signal
10	160
40	640
60	960

在较高的增益值下，数据的方差也较高，所以负值更有可能。这就是为什么在增加增益时应该增加偏移量。另一方面，更高的偏移值在16位分辨率下的数据空间较小（Offset = 256，您可以“窃取”65536中的4096个等级），因此设置非常高的偏移量并不是个好主意 每一种情况.

作为一般规则，您应该将偏移量设置为GAIN值的大约40%至50%。例如，对于GAIN = 300，将Offset设置在120到150之间.

要进行双重检查，只需确保您的灯框直方图在左侧明显分离，如下图所示.



12位ADC，16位READOUTS

虽然传感器的模数转换器（ADC）具有12位分辨率（可表示0÷4095的范围），但ADU中的像素值在0÷65535 ADU中给出，即使用16位。

如果您在制造商的文档之间阅读，您可以发现ADC输出向左移动4像素（用0填充），这对应于将其乘以16.检查我写了一个非常简单的python脚本:

```
# REQUIRES AstroPy & NumPy
from astropy.io import fits
# Open FITS files - change filename as needed
hdulist=fits.open("test.fit")
hdu=hdulist[0]
# Scanning actual data
# Data is stored as an array (rows) of arrays (columns)
# Pixel at row r and column c is stored in hdu.data[r][c]
```



```
# n = number of anomalous bits found
n = 0
for row in range(0,len(hdu.data)):
    print("Scanning sensor line #s out of %s" % (row,len(hdu.data)))
    for col in range(0,len(hdu.data[row])):
        if (hdu.data[row][col] & 0x000F) != 0:
            print("Pixel value not multiple of 16 at %s, %s" % (row,col))
            n = n + 1
print ("A total of %s pixels with non zero value in the 4 least significant
bits have been found" % n)
```

该脚本扫描整个FITS图像，查看每个像素的最低有效4位，如果这些位不为0，则递增一个计数器。在每个图像上，我运行这个脚本，没有找到这样的像素。ADC读数确实乘以16。

在ADU中表示像素值

如果我们结合我发现的偏移和像素值，我们可以使用以下公式在ADU中表达读数：

$$P(r,c)=16*(P_e(r,c)/g+Offset)$$

where:

- ★ $P(r, c)$ 是行 r 和列 c 的像素值，用ADU表示
- ★ $P_e(r, c)$ 是行 r 和列 c 的像素值的检测信号值（以电子为单位）
- ★ g 是以电子/ADU表示的信号放大器的增益。该值取决于GAIN参数（如相机驱动程序中所设置的），稍后将显示该参数
- ★ $Offset$ 是同系驱动器参数的值
- ★

增益与曝光时间

下一个测试的目标是找出GAIN和曝光时间之间的关系，以便在输出图像中获得给定的ADU值。再次，我用一个恒定的照明表面作为目标拍摄一系列图像，我测量了达到ADU中预定平均值的时间（在本测试中，我使用 $40,000 \pm 500$ 个ADU，但您可以使用任何其他值 只要所有图像都一样）。

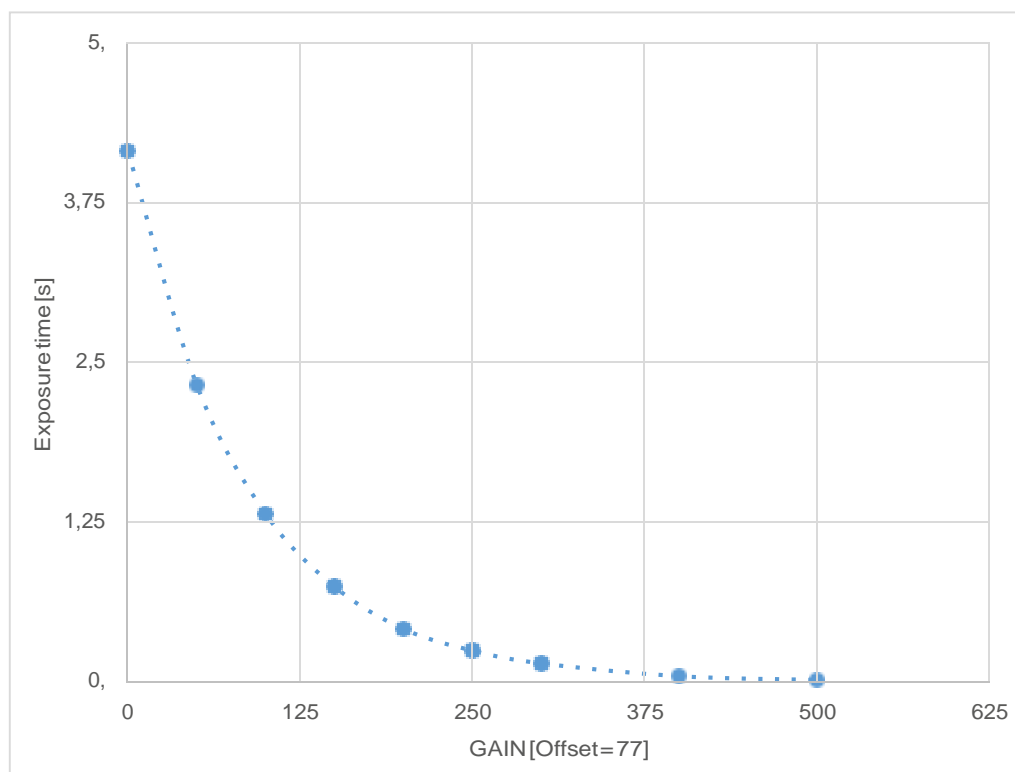
对于每个图像，我使用了不同的GAIN值，但是为了简化图像之间的比较，Offset的值相同，否则应该从平均值中减去Offset）。

您可以尝试和错误地进行，但运行此测试的更简单的方法是使用Sequence Generator Pro的Flat Calibration Tool。只需在ADU中设置所需的目标值（在这种情况下为40000），并找到相应的曝光持续时间。

这是结果：



GAIN	Offset	Exposure time [s]
0	77	4,15
50	77	2,32
100	77	1,31
150	77	0,74
200	77	0,41
250	77	0,24
300	77	0,14
400	77	0,04
500	77	0,01



曲线非常类似于您从指数低点预期的曲线。作为单反相机用户，我习惯于以停车方式思考，所以我问自己是否可以根据2的功率来建模这条曲线。

答案是肯定的。如果我们用 T_0 表示 $GAIN = 0$ 的曝光时间， G 表示当前的增益水平，我们可以表示曝光时间 T ，如下所示：

$$T = T_0 * 2^{G/60}$$

在下表中，我再次列出了以前的结果以及上述方程的预测。如您所见，数据是完美的模型。



Gain	Offset	Exposure [s]	Model[s]
0	77	4,15	4,15
50	77	2,32	2,33
100	77	1,31	1,31
150	77	0,74	0,73
200	77	0,41	0,41
250	77	0,24	0,23
300	77	0,14	0,13
400	77	0,04	0,04
500	77	0,01	0,01

但是如何使用上述方程式？这很简单，你不需要面对任何花哨的计算。只是一个简单的规则：

S

如果您添加（减去）**60**增益，您的曝光时间减半（双打）。

你是否真的有必要考虑**ISO**？别担心，这是另一个简单的规则：

S

要添加等效的**ISO**停止，将**GAIN**提高**60**点；将**ISO**的等效物料减少一站，将**GAIN**降低**60**点。

不要误会我 这仅适用于信号放大（读出噪声前期），但是确定在给定**GAIN**时应显示多长时间是一个很好的起点。

假设您在**GAIN = 30**时获得了一个漂亮的直方图，曝光时间为**600**秒。如何更改**GAIN**以获得**300**秒曝光的等效图像？使用单反相机，您可以将**ISO**的倍数（例如从**800**到**1600**），但这是**QHY163M**的错误答案：您需要添加**60**到您以前的增益，所以你上升到**90**而不是加倍到**60**！

增益 - ISO等效

下一个逻辑步骤在于确定**QHY163M**的**ISO**等效性。为了找到这一点，我使用了**QHY163M**和佳能**7D Mark II**进行了一系列曝光。该程序基本上与线性度测试相同：为确定输出图像中的预设平均值（此时选择**12000 ADU**），要确定曝光时间拍摄白色表面。

使用**7D2**，我使用了**f / 4**光圈，并且以**ISO 100**到**ISO 6400**的**5**种不同的**ISO**感光度进行了测试。使用**QHY163M**，我再次使用了高桥**FSQ-85 EDX**，光圈为**f / 5.3**，我使用**GAIN**值为**0,100**和**300**；我总是将偏移设置为**77**。结果列在下面。

Configuration	Exposure [s]
Canon 7D Mark II @ ISO 100	4,00
Canon 7D Mark II @ ISO 400	1,00
Canon 7D Mark II @ ISO 1600	0,25
Canon 7D Mark II @ ISO 6400	0,07
QHYCCD QHY163M @ GAIN 0 Offset 10	3,80
QHYCCD QHY163M @ GAIN 100 Offset 40	0.85
QHYCCD QHY163M @ GAIN 300 Offset 60	0,10



您可能会发现ISO 100和GAIN 0看起来很相似，但请等一下：我们考虑到我使用两种不同的焦距比的事实。为了将苹果与苹果进行比较，我们需要将QHY163M的曝光时间除以 $(5.3 / 4)^2$ 给出的因子，即焦比的平方。

应用此修正后，表格如下所示：

Configuration	Exposure [s]
Canon 7D Mark II @ ISO 100	4,00
Canon 7D Mark II @ ISO 400	1,00
Canon 7D Mark II @ ISO 1600	0,25
Canon 7D Mark II @ ISO 6400	0,07
QHYCCD QHY163M @ Gain 0 Offset 10	2,16
QHYCCD QHY163M @ Gain 100 Offset 40	0,48
QHYCCD QHY163M @ Gain 300 Offset 60	0,06

现在您可以注意到，QHY163M的曝光时间大约是ISO 100的7D Mark II的曝光时间的一半。然后我们可以推断设置GAIN = 0可以与DSLR的ISO 200设置相关联。公平地说，如果我们使用三分之一的停止比例，GAIN = 0的数据点比ISO 200更接近于ISO 200。无论如何，为了简单起见，我将坚持使用ISO 200。

记住上一段，增加60单位的增益对应于将曝光时间减半。现在我们有一切我们需要列出GAIN和ISO之间的完全等同性。

ISO	Gain
200	0
400	60
800	120
1600	180
3200	240
6400	300
12800	360
25600	420
51200	480
102400	560

作为额外的确认，您可能会看到，QHY163M在GAIN = 300时的曝光时间与上述表中预测的ISO 6400中7D Mark II的曝光基本相同。

顺便说一下，这意味着在QHYCCD ASCOM驱动程序（Gain = 174，Offset = 74）中预设的DSO或多或少相当于DSLR上的ISO 1600。

S

注意：在最新版本的ASCOM驱动程序中，QHYCCD将GAIN量表（从0+58改为0+580，即乘以10）。它还引入了保存9个命名的增益/偏移预设的可能性。默认情况下有两个预设，深空物体和行星）。



测试报告 - 3

传感器基础

比较**QHY163M**后，我测量了传感器的基本原理：增益，读出噪声，暗电流，满井容量和动态范围。

在**-10°C**（**-35°C**相对于环境温度）下进行测试。对于每个测试配置，我采取了两个偏置框架，两个暗框架和两个平面框架。为了避免手工计算，我使用这些框架来提供**PixInsight**的**BasicCCDParameters**脚本。

S

注意：Jon Rista 的一些关于相同传感器的相机的报告（ASI1600 - <https://www.cloudynights.com/topic/579728-flat-frames-what-is-the-ideal-ad-value/#entry7920805>）似乎暗示了低于0.2秒曝光的偏差帧的异常波动。我相信这些波动可能与曝光时间不正确有关（QHY163M和ASI1600没有机械快门）。另见评估上述结果。

下表显示测试报告。请记住，每个像素中的ADC值移位4位（见12位ADC，16位读数），因此报告的增益值比实数值低16倍。例如，增益报告为GAIN = 0; Offset = 10为0.302，实际增益为0.302

* 16 = 4.832 e- / ADU）。

RUN 1: GAIN 0 - OFFSET 10

Measurement	R/C0	G/C1	B/C2	-/C3	Units
mean B1	148.119	---	---	---	ADU
stddev B1	11.529	---	---	---	ADU
mean D1	149.055	---	---	---	ADU
stddev D1	17.217	---	---	---	ADU
mean D2	133.844	---	---	---	ADU
stddev D2	90.849	---	---	---	ADU
mean F1+F2	64712.932	---	---	---	ADU
stddev F1-F2	462.256	---	---	---	ADU
mean B1+B2	296.127	---	---	---	ADU
stddev B1-B2	16.240	---	---	---	ADU
mean D1-B1	0.935	---	---	---	ADU
gain	0.302	---	---	---	e/ADU
readout noise	3.466	---	---	---	e
readout noise	11.483	---	---	---	ADU
dark current	0.028	---	---	---	e/sec
fullwell cap.	19780.793	---	---	---	e
dynamic range	5706.995	---	---	---	steps

RUN 2: GAIN 120 - OFFSET 60

Measurement	R/C0	G/C1	B/C2	-/C3	Units
mean B1	952.855	---	---	---	ADU
stddev B1	21.426	---	---	---	ADU
mean D1	958.763	---	---	---	ADU
stddev D1	59.014	---	---	---	ADU
mean D2	1005.679	---	---	---	ADU
stddev D2	297.159	---	---	---	ADU
mean F1+F2	70899.485	---	---	---	ADU
stddev F1-F2	973.186	---	---	---	ADU
mean B1+B2	1905.543	---	---	---	ADU
stddev B1-B2	29.825	---	---	---	ADU
mean D1-B1	5.908	---	---	---	ADU
gain	0.073	---	---	---	e/ADU
readout noise	1.538	---	---	---	e
readout noise	21.089	---	---	---	ADU
dark current	0.004	---	---	---	e/sec
fullwell cap.	4778.602	---	---	---	e
dynamic range	3107.489	---	---	---	steps

**RUN 3: GAIN 174 - OFFSET 77**

Measurement	R/C0	G/C1	B/C2	-/C3	Units
mean B1	1228.049	---	---	---	ADU
stddev B1	33.851	---	---	---	ADU
mean D1	1202.522	---	---	---	ADU
stddev D1	100.643	---	---	---	ADU
mean D2	987.622	---	---	---	ADU
stddev D2	512.542	---	---	---	ADU
mean F1+F2	64908.739	---	---	---	ADU
stddev F1-F2	1261.937	---	---	---	ADU
mean B1+B2	2456.284	---	---	---	ADU
stddev B1-B2	46.678	---	---	---	ADU
mean D1-B1	-25.528	---	---	---	ADU
gain	0.039	---	---	---	e/ADU
readout noise	1.296	---	---	---	e
readout noise	33.006	---	---	---	ADU
dark current	0.002	---	---	---	e/sec
fullwell cap.	2573.605	---	---	---	e
dynamic range	1985.549	---	---	---	steps

RUN 4: GAIN 300 - OFFSET 150

Measurement	R/C0	G/C1	B/C2	-/C3	Units
mean B1	2388.946	---	---	---	ADU
stddev B1	119.661	---	---	---	ADU
mean D1	2447.470	---	---	---	ADU
stddev D1	316.169	---	---	---	ADU
mean D2	2810.659	---	---	---	ADU
stddev D2	1209.323	---	---	---	ADU
mean F1+F2	73496.307	---	---	---	ADU
stddev F1-F2	2765.222	---	---	---	ADU
mean B1+B2	4777.133	---	---	---	ADU
stddev B1-B2	166.170	---	---	---	ADU
mean D1-B1	58.524	---	---	---	ADU
gain	0.009	---	---	---	e/ADU
readout noise	1.060	---	---	---	e
readout noise	117.500	---	---	---	ADU
dark current	0.000	---	---	---	e/sec
fullwell cap.	591.102	---	---	---	e
dynamic range	557.745	---	---	---	steps

与佳能7D MARK比较II

要将 **QHY163M** 与 **DSLR** 进行比较，您可以查找在线资源，例如 <http://www.sensorgen.info>。我特别感兴趣的是比较**QHY163M**和我的单反相机，佳能**7D Mark II (7D2)**。**7D2**基本上是运动相机，但它具有佳能阵容中最好的传感器之一（但与索尼和尼康相机中的**Sony**传感器相比，特别是在动态范围内），与许多方面相比差距很小。

如果与其他未冷却的单反相机相比，**7D2**在暗电流方面表现优异。**H-alpha**敏感度在**DLSR**的术语上是好的，但在这方面，单色，冷却的天文摄像机在不同的联盟中发挥作用。

有关**7D2**的一些报告可在<http://www.sensorgen.info/CanonEOS-7D-Mark-II.html>或<http://www.clarkvision.com/reviews/evaluation-canon-7dii/>获取。

这里列出了最重要的参数:



Sensorgen	Readout noise [e-]	FWC [e-]	Dynamic range [stops]
ISO100	12,9	29544	11,2
ISO200	8,0	18552	11,2
ISO400	5,2	9724	10,9
ISO800	4,0	4866	10,2
ISO1600	2,8	2509	9,8
ISO3200	2,1	1236	9,2
ISO6400	2,2	626	8,1
ISO12800	2,0	320	7,3

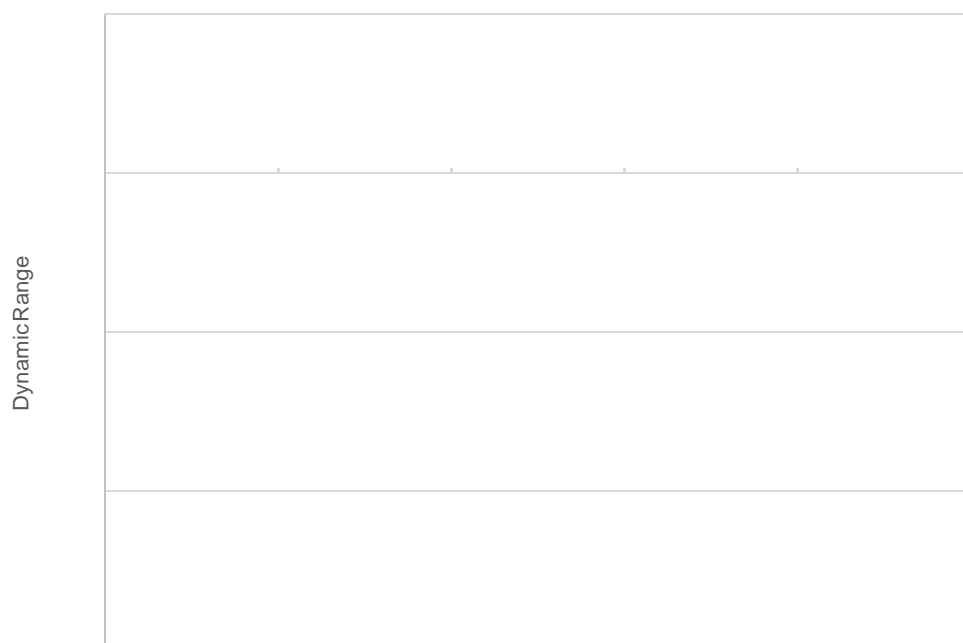
Clark	Gain [e-/ADU]	Readout noise [e-]	FWC [e-]	Dynamic range [stops]
ISO100	2,74	15,0	31800	11,0
ISO200	1,34	7,8	17800	11,2
ISO400	0,67	4,6	8910	10,9
ISO800	0,34	3,2	4520	10,5
ISO1600	0,168	2,4	2230	9,9
ISO3200	0,084	1,9	1110	9,2
ISO6400	0,042	1,7	560	8,4
ISO12800	0,021	1,6	279	7,4

动态范围

与制造商的声明一致，动态范围（**DR**）在**GAIN**处于**12.5**停止位置

= 0，它保持在优良的水平（**11**站），直到**180**度的中档**GAIN**。即使在较高的**GAIN**水平，您仍然可以获得非常好的**DR**值为**9+**。

Gain	Dynamic range [stops]
0	12,5
120	11,6
174	11,0
300	9,1



与7D2的比较使它变得耻辱。在“等效”使用条件（从增益角度来看，对于7D2的增益 - ISO 1600，QHY163M的GAIN = 174），QHY163M的DR达到11站，而7D2则只有9.8-9.9的停滞。

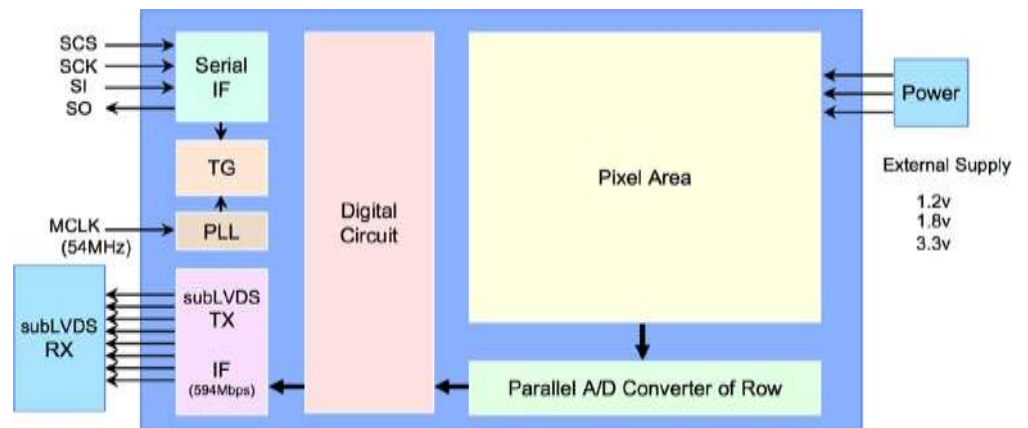
在较低的GAIN下，QHY163M提供的优势更为明显。虽然7D2在ISO 100下限制在11档，但在GAIN 0时，QHY163M最多可达12.5档。

这是ADC的相对低分辨率可以是极限（12.5位动态范围的12位分辨率）的唯一情况。通过单次曝光，量化噪声不可忽视。然而，我们通常会叠加多次曝光，其中一小部分足以忘记量化噪声。

读出噪音

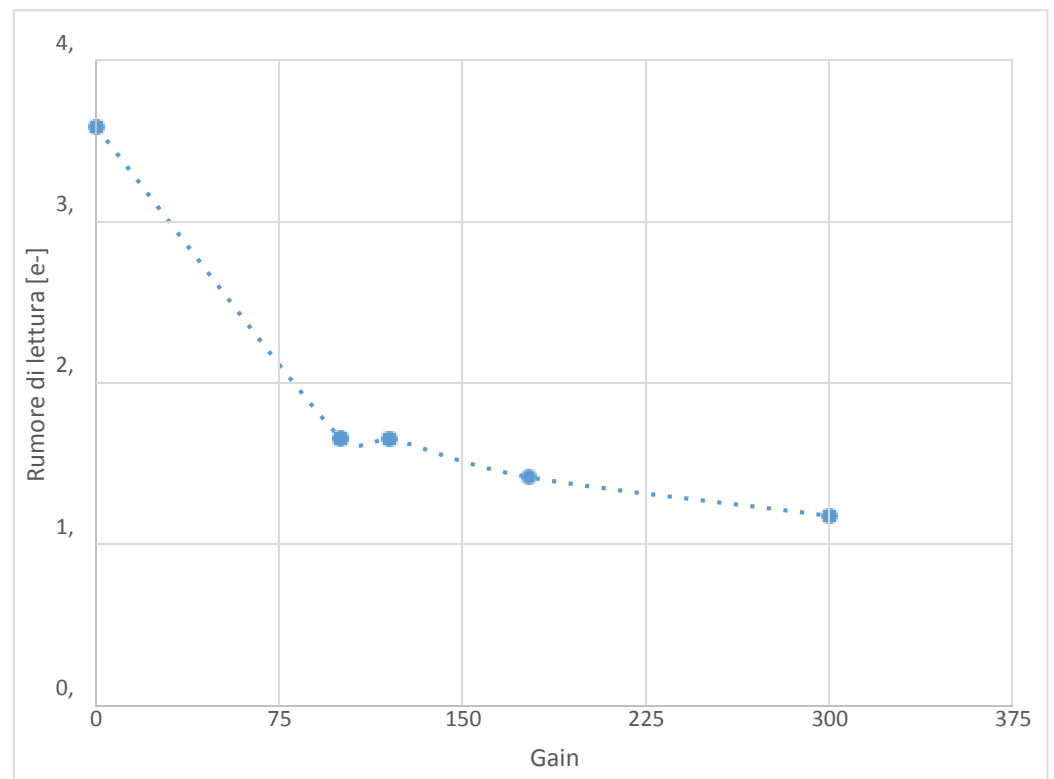
就像上一代Sony传感器（与大多数佳能传感器相反），安装在QHY163M上的Panasonic传感器即使在最低的增益设置下也能显示非常低的读出噪音。读出的噪声曲线快速平移到1电子的最小值。

这是具有非常低的下游噪声的传感器的显着特征，因此对增益设置（对于DSLR世界而言，这些传感器被称为ISO不变量）并不敏感。松下MN34230的数据资料显示，内置ADC：从信号放大器到ADC的短路有助于降低下行噪声，而ADC芯片传感器外部的相机设计（CCD相机和佳能数码单反相机）。



在GAIN = 100时，GAIN = 100时，读数噪音的回报会减少，因此将GAIN提高到300以上似乎是值得怀疑的（因为在较高的GAIN下，您也可以松动动态范围）。

Gain	Readout noise [e-]
0	3,47
100	1,54
177	1,30
300	1,06



再次，与7D2的比较表明，QHY163M是一个明显的赢家。但它也比索尼配备的单反相机，包括尼康和索尼相同。与CCD传感器相机没有比较：最好的是5-6个电子，但CCD平均传感器的读出噪声不低于8个电子。



数码单反相机比较 第2部分—

使用像个单反相机

这应该是没有任何惊奇的，因为两者都是基于**CMOS**技术。**QHY163M**可能非常像数码单反相机。使用数码单反相机，您可以通过提高**ISO**感光度来提高读出噪音。同样适用于**QHY163M**：您可以通过提高增益来减少读数噪声。在这两种情况下，您都会在提高**ISO / GAIN**时获得递减的回报，并且在某一点后，增加**ISO / GAIN**的优势可以忽略不计。

另一方面，数码单反相机在基础**ISO**下显示出最佳的动态范围。**QHY163M**也是如此，它在**GAIN 0**中提供了最佳的动态范围。

全能力

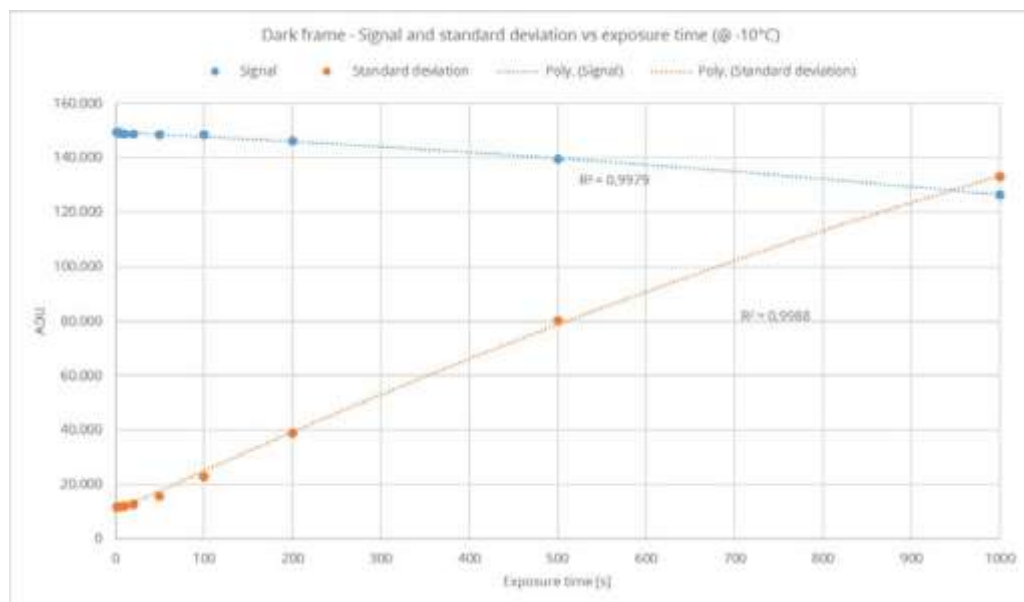
全井容量（**FWC**）在约**19.800**电子在**GAIN = 0**时，符合**QHYCCD**提供的值。它远远超过了约的理论极限。每平方微米**2000**个电子（或**QHY163M**的**3.8 μ 2**像素的**29000**个电子）。可能这是由于片上读取和转换电路（像素的活动表面的空间较小，占用较少的空间电子井）。

FWC以及读出的本底噪声决定了动态范围。由于**DR**非常出色，您不应该太担心**FWC**值。

低电流

关于这款相机的一个奇怪的事情是，**Dark Frame**的平均值通常低于相应**Bias**帧的平均值。黑暗的曝光持续时间越长，平均值越低，标准偏差越高越好。

测试报告 - 4



事实证明，这种效果是由于传感器的光学黑色校准。传感器（屏蔽屏蔽）的这个区域的目的是设置输出框架的黑点，但是对于长时间曝光，放大器发光会导致温度升高，从而导致黑点的过度校正，导致在上图中观察到的平均值略有下降。



S

只要您注意校准，就不会对您的图像造成不良后果。在数据库中，您必须确保：

- 采用与相框相同曝光和温度的黑框。不用说，你也必须同样的增益和抵消。
- 校准时，请勿使用“**Master Dark**”（主暗）缩放。如果您使用**PixInsight**，请在**ImageCalibration**过程中禁用“主黑”的“优化”选项。
- 如果您使用主偏置框架校准**Darks**，还应添加一个基座，以便在从黑暗中减去偏差时避免黑色剪辑。

由于过度校正，测量暗电流的短路是不可行的，因为这将导致不可预测的结果。解决办法是使用相同持续时间和相同温度的两个暗帧，我们称之为**D1**和**D2**。然后，从**D1**中减去**D2**（在**PixInsight**中使用**PixelMath** - 在**ImageJ**中使用图像操作 - 减法）。由于两个图像中的固定图案噪声相同，通过从另一个图像中减去一个，我们消除了对总噪声的贡献，并且留下了热噪声（由于暗电流随机性质）和读出噪声（信号散射噪声明显 零，因为我们使用暗帧）。

现在，对于泊松分布的属性，我们可以将差分图像的总噪声计算为其标准偏差 σ （**D1-D2**），即：

$$\sigma_{1-2} = \sigma(D1 - D2) = \sqrt{\sigma(D1)^2 + \sigma(D2)^2} = \sqrt{2} \sigma'$$

$$\sigma' = \frac{\sigma_{1-2}}{\sqrt{2}}$$

我假设那个：

$$\sigma' \cong \sigma(D1) \cong \sigma(D2)$$

换句话说，两个暗帧的标准偏差大致相同并且等于 σ' 。这是非常合理的，因为在相同条件下拍摄的两个黑色应该（平均）非常相似（当然，各个像素可能会产生根本不同的值）。

现在，对于一个黑框，我们可以写：

$$\sigma = \sqrt{D_c t + RON^2 + FPN^2}$$

其中 $D_c * t$ 是暗信号（不要将其与暗噪声混淆，这是暗信号的平方根！），由暗电流 D_c 乘以曝光时间的乘积给出； RON 是读出的噪音； $FPNU$ 是固定模式噪声。我们也可以将上述等式重写为：

$$\sigma^2 = D_c t + RON^2 + FPN^2$$

$$D_c t = \sigma^2 - RON^2 - FPN^2$$

我们知道 RON 从以前的测量值，我们可以确定任何给定的暗帧的 σ ，但是我们不能区分暗电流对固定模式噪声的贡献。然而，如果我们从另一个暗帧中减去一个暗帧，则固定模式噪声消除，而标准偏差由上面我们找到的公式给出，所以我们留下：



$$D_c t = \left(\frac{\sigma_{1-2}}{\sqrt{2}} \right)^2 - RON^2$$

最后，如果我们解决 D_c ，我们发现：

$$D_c = \frac{\left(\frac{\sigma_{1-2}}{\sqrt{2}} \right)^2 - RON^2}{t}$$

这是Buil在其评论中报道的相同公式（参见参考文献），除了我在ADU中表示所有变量而不是电子。如果要每秒发现电子暗电流，只需将暗电流 D_c 乘以增益的平方。否则，在上述公式中，您可以将标准偏差 σ_{1-2} 乘以增益 G 并输入电子中的读出噪声：

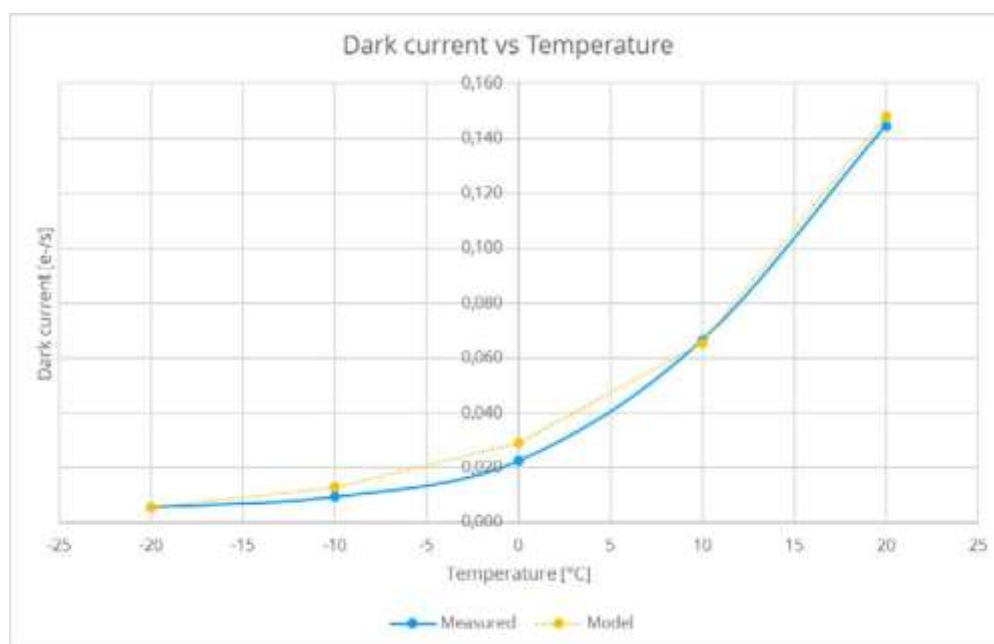
$$D_c = \frac{(G \frac{\sigma_{1-2}}{\sqrt{2}})^2 - RRRRFF^2}{t}$$



现在，我们来最重要的部分，测量。对于天文摄像机来说，暗电流几乎不在记录值附近，但在相当低的情况下，在典型的工作条件下，每秒可以看到每像素0.01个电子电子（低于环境温度可达40°C）温度，即使在夏天也可能在-10°C或更低的温度下工作）。

Temperature [°C]	Measured dark current [e-/s]	Predicted dark current [e-/s]
-20	0,006	0,006
-10	0,009	0,013
0	0,022	0,029
10	0,067	0,066
20	0,145	0,148

预测暗电流列是暗电流的数学模型。通常假设暗电流对于温度Tk度的每增加都加倍，其中Tk是取决于特定传感器的常数，并且通常假设值在5~6°C左右。对于这台相机，我发现这个常数要高一点，大约8.5°C，我用这个值来填充Predicted列。下图显示了该模型适合数据：



与标准CCD相机相比，使用QHY163M时，按下温度会降低。硬币的另一面是，当高环境温度阻止摄像机在非常低的温度下工作时，您支付较小的罚款。



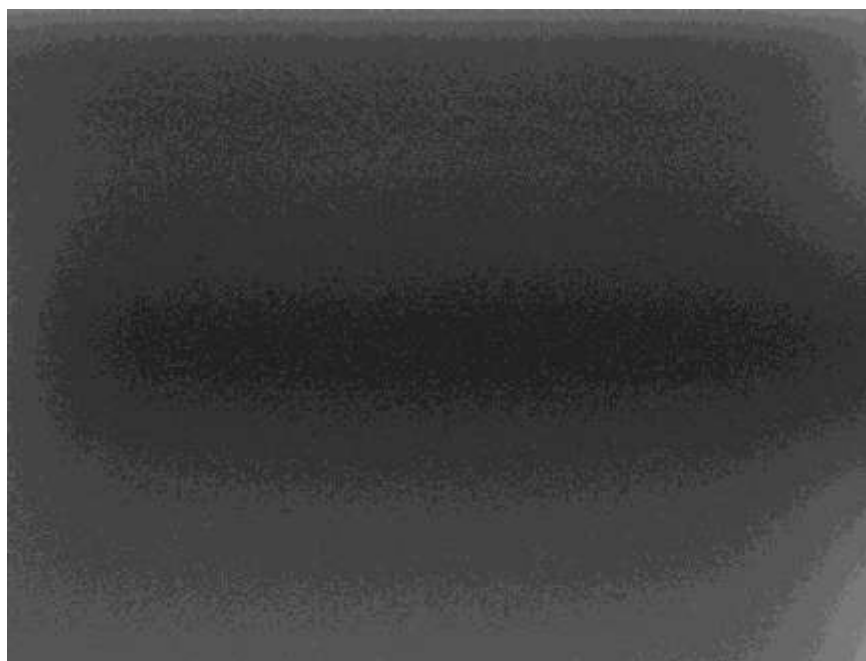
测试报告 - 5

就噪音的绝对值而言，把事情放在透视上，在-20°C的15分钟曝光中，你会得到一点点超过5个电子值的热噪声，这加起了读取噪声 $1 \div 1.5$ 电子，总噪声为6电子。相比之下，最流行的CCD传感器KAF-8300仅以8÷10电子开始读取噪声。

快速注意事项：本相机的最低工作温度似乎为-30°C，这意味着固件不允许进一步冷却。当我写这篇评论时，环境温度不会低于10°C，所以我无法测试这个断言。

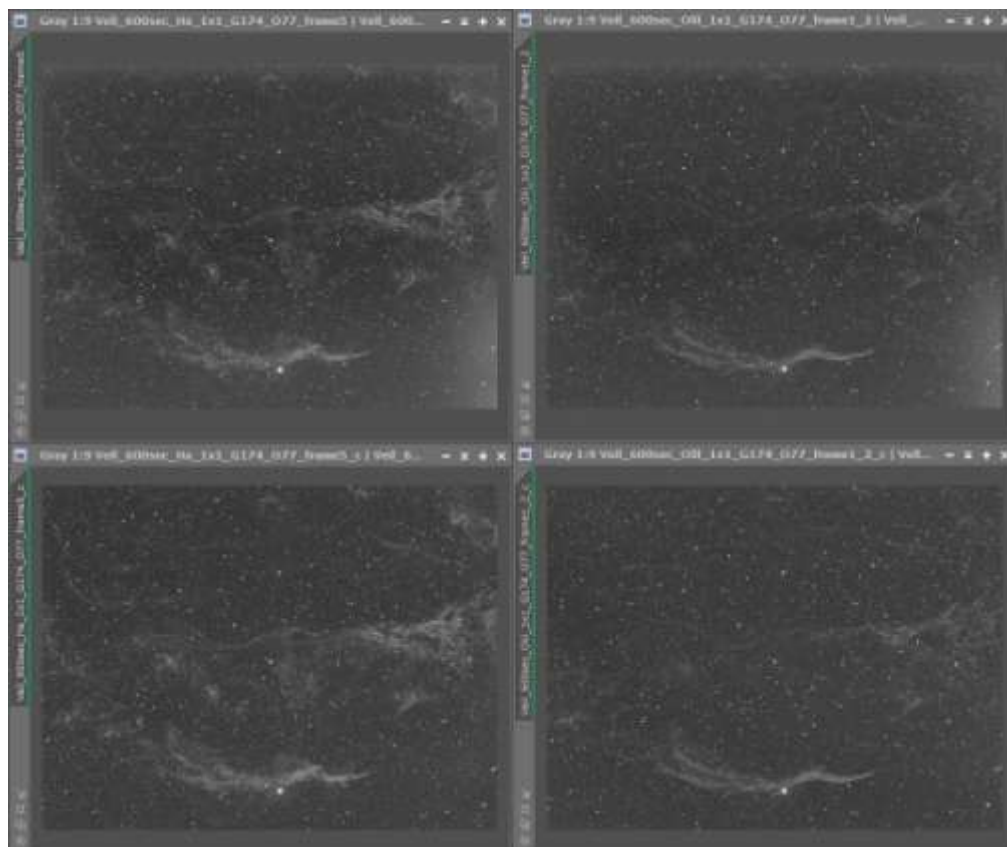
AMP GLOW

关于放大器发光，仅显示超过一分钟的曝光时间。它在右下角和右上角更突出，但对于非常长的曝光（**10**分钟以上），即使在顶部和底部的乐队，您也将开始注意到它。



Amp Glow曝光600秒@ 10°C (STF伸缩与PixInsight)

对于短时间曝光，如一分钟或更短时间，放大器发光不是一个因素。在任何情况下，良好的图像校准可以消除放大器发光的所有影响，如下图（PixInsight中使用100个偏置帧，16个暗帧和20个平面帧校准）所示。



通过校准去除放大器发光（带偏置，黑暗和平坦的框架）。顶行：未校准的灯框（左侧H- α ，右侧O-III）。底行：相同帧的校准版本。



S

再次，我建议在校准期间禁用黑框缩放（在**PixInsight**中，它是**ImageCalibration**过程的“主黑暗”选项卡下的优化选项），以避免欠校正或过度校正。只需使用相同温度下拍摄的暗帧，曝光时间，亮度和亮度偏移量。

S

注意：为了减少放大器发光，建议将**USB**流量设置为零（最大传输速度）。无论如何，使用最新的软件版本，当单帧模式（不在视频模式）时，相机始终处于**USB流量= 0**的状态。

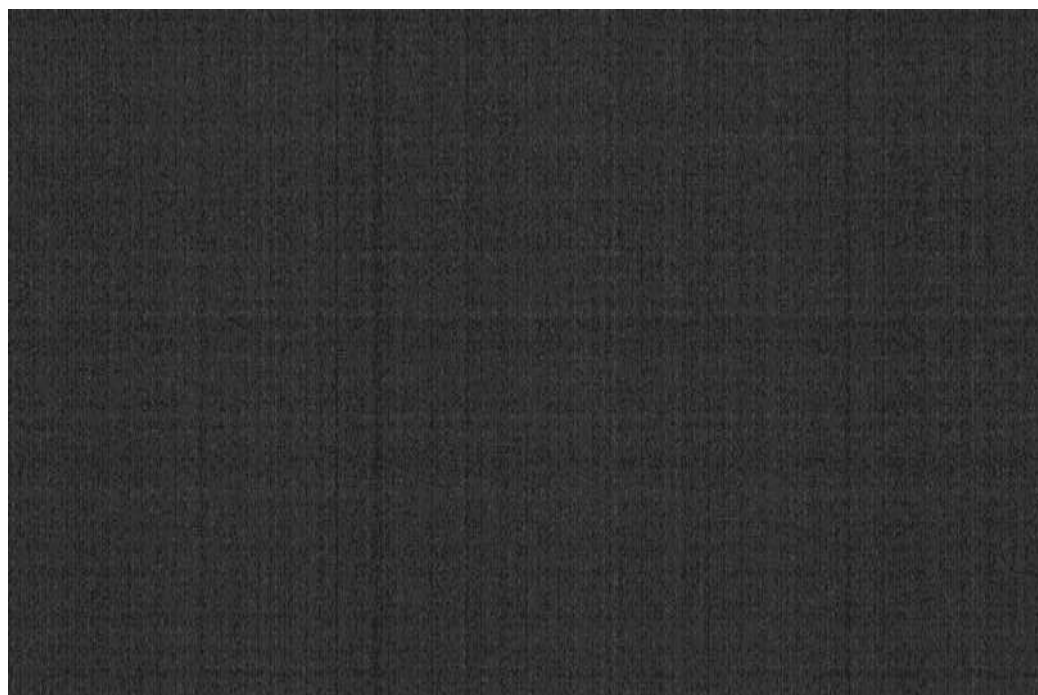
像素响应非均匀性

测试报告 - 6

—

大多数噪声源具有时间性质，这意味着它们对于给定像素的读取的贡献随着时间随机地变化。然而，一些噪声源往往会以相同的方式随着时间的推移影响相同的像素。此外，给定像素上的噪声通常与相邻像素的噪声相关，从而形成一种图案。那些噪声源具有空间特性，而最重要的例子之一就是像素响应非均匀性，或**PRNU**，其基本上是由于像素，列或行级传感器不均匀性引起的信号变化。

虽然**PRNU**的幅度可能低于或等于读出噪声的大小，但其效果特别令人讨厌。事实上，人脑在模式识别方面非常出色，所以**PRNU**脱颖而出。**PRNU**最常见的形式是条带：佳能**7D**（第一版或**Mark I**）的偏置框架的示例值得一千字：



佳能EOS 7D的偏置框架

即使图像大小调整为25%，您也可以轻松检测垂直和水平条纹。条纹对日间摄影影响不大，除非您需要在曝光不足的区域恢复阴影（这对于具有高动态范围的场景是常见的）。



对于天文摄影条带是一个问题，因为所有的图片都需要接收直方图的极限。由于PRNU并不完全是随机的，因此通常使用偏置框架的校准技术甚至抖动都是无效的。实际上，频带可能出现在每个帧的不同位置。

最近几年制造的CMOS传感器（2014年以后的所有Sony传感器和佳能传感器）都显示了PRNU的改进。例如，佳能7D Mark II相对于以前的版本显示出光明的岁月。



佳能EOS 7D Mark II的偏差框架

QHY163更好，快速检查后不显示条带痕迹。

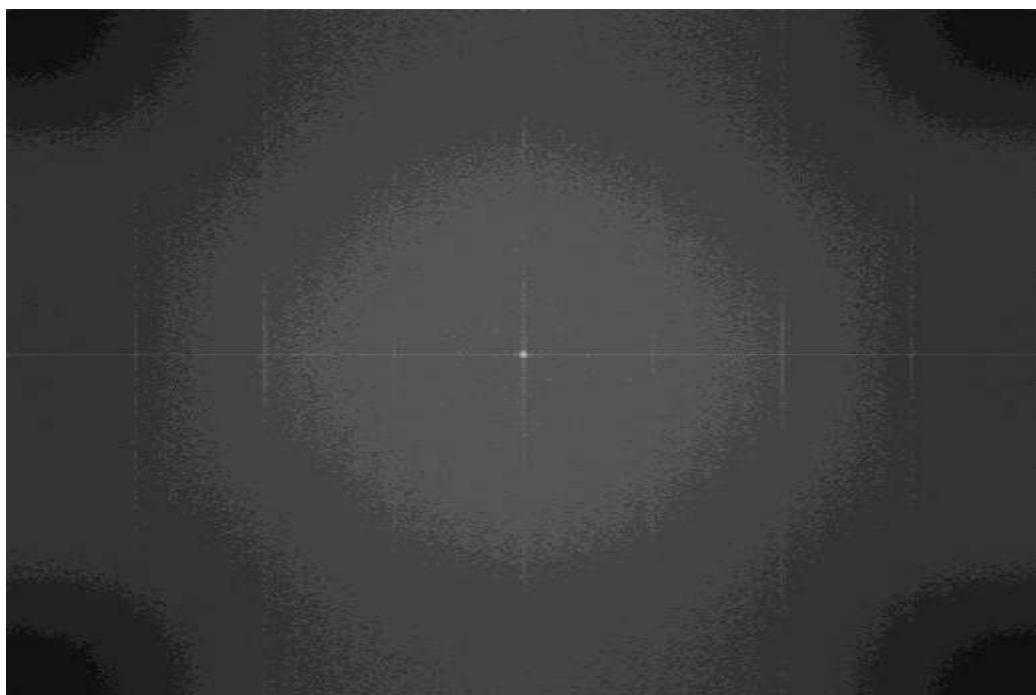


偏置框架的QHY163M

所有上述图像都已经使用PixInsight的STF和HistogramTransformationTool进行了拉伸。

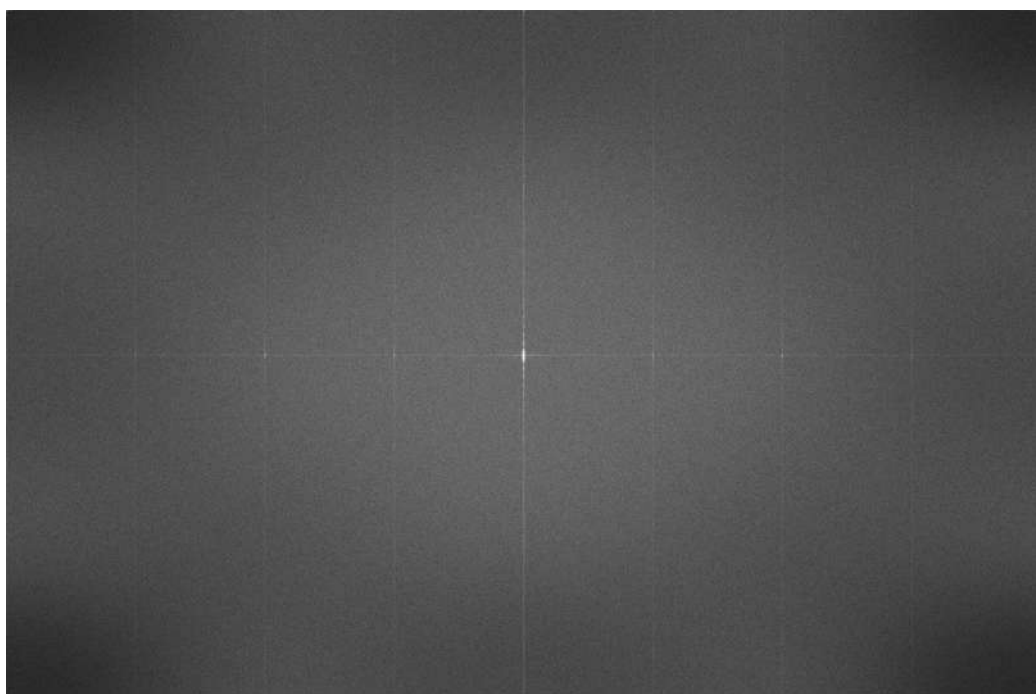
以分析方式评估PRNU的最佳方法之一是计算偏置帧的DFT（离散傅立叶变换）。

对于佳能7D，DFT显示垂直和水平线，分别对应于水平和垂直条带。多行的存在意味着存在不同频率的条带，这意味着存在不同宽度的条带。DFT线是水平和垂直的事实证实PRNU与行和列相关（而不是“对角线”方向）。



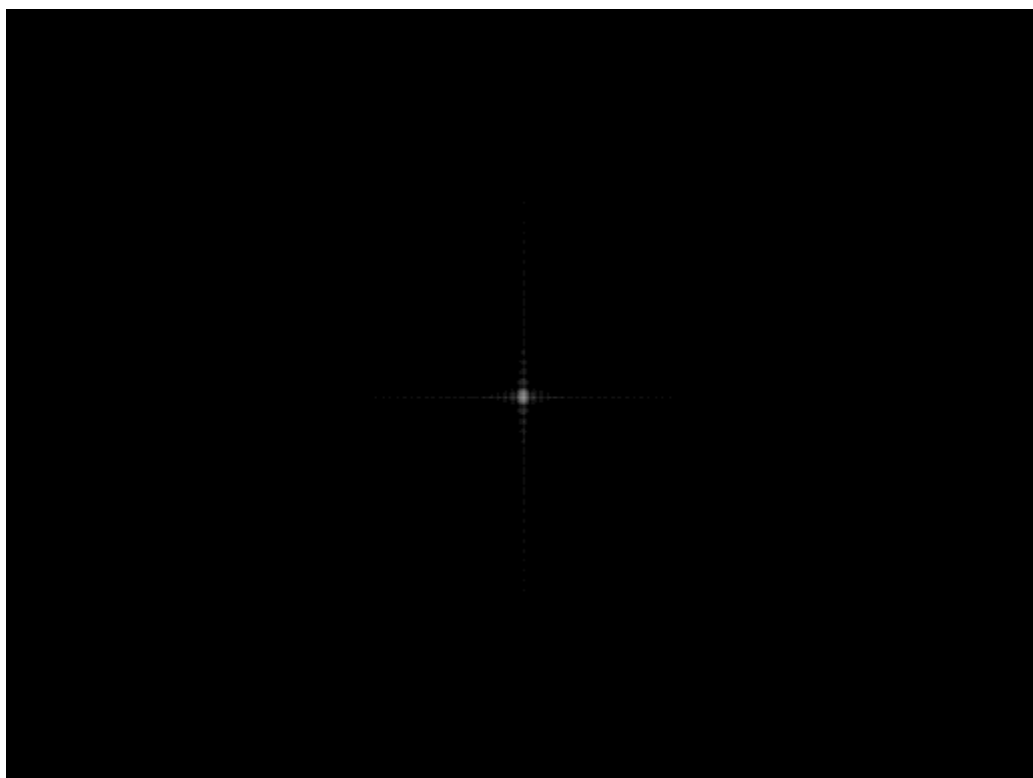
佳能EOS 7D的偏置框架的DFT

佳能7D Mark II的DFT证实，这款相机在PRNU方面优于其前身。中心地带有更多的“能量”，而线条更暗，意味着乐队的强度较低。此外，中心水平线非常暗淡，意味着残留条纹主要是水平的。



佳能EOS 7D Mark II偏置框架的DFT

QHY163M的偏置框架的DFT证实了目视检查：中心点比其周围环境轻得多，因为它应该在偏置为纯常数的理想情况下。



QHY163M的偏置框架的DFT

总而言之，从PRNU的角度来看，QHY163M的性能似乎是非常出色的，这应该在良好的轻量级校准之间进行翻译。另外，

读出噪声非常小，可能不需要偏置校准。当然这是一个主观考虑，这取决于你正在寻找的完美水平，以及你准备在后期制作中花费多少时间。

最终VERDICT

三十页，我只是刮了表面。还有更多关于QHY163M的说法，从很好的施工到最好的细节，如玻璃窗上的加热器，以防止露水。不要忘了，这款相机兼作行星相机，可以达到非常高的帧速率，例如800x600像素的100 fps。但是，您可以在QHYCCD网站上找到这样的信息，以及迄今为止发布的几个评论以及使用本相机拍摄的一些壮观的图像。

正在进入市场的QHY163M及其CMOS姊妹将深入讨论如何通过允许将高分辨率技术应用用于DSO成像（大量短曝光而不是长时间曝光）来彻底改变天文摄影。但是这个文件需要很长时间，你可以在别处找到很好的讨论（另见下面的链接）。

最重要的是，在第一个灯架之后，我爱上了这台相机（记录了面纱星云的10分钟Ha形象）。所有规格都符合制造商的要求以及其他审核人员的结果。读取噪音，线性和动态范围都不错，对于成本仅为1,259美元的相机来说，出色的效果。黑暗的噪音并不是最大的缺点，但它完全受到控制。长时间曝光的安瓿发光是显而易见的，但它的校准效果非常好，这是无关紧要的。



总而言之，**QHY163M**是一款产品，我毫不犹豫地推荐给所有的天文摄影师寻找中型传感器，并且完美适合所有想要移动到更高性能的相机的单反相机用户。如果您使用数码单反相机，您将会感到与**QHY163M**在一起，因为它可以根据类似的概念工作。以这么低的价格，修改单反相机而不是购买**QHY163M**是非常有意义的。

参考

对于天文摄影中**CMOS**和**CCD**技术的比较，包括对**QHY163M**的一些测试：

Christian Buil

CMOS与CCD

<http://astrosurf.com/buil/CMOSvsCCD/index.html>

为了深入了解传感器性能指标和分析，一些有用的来源是：

- ★ Junichi Nakamura (Ed.)
Image sensors and signal processing for digital still cameras
2006 Taylor & Francis
- ★ Emil Martinec
Noise, Dynamic Range and Bit Depth in Digital SLRs
University of Chicago - <http://theory.uchicago.edu/~ejm/pix/20d/tests/noise/>
- ★ QSI
Understanding CCD Read Noise
http://www.qsimaging.com/ccd_noise.html
- ★ R.I. Hornsey
Part III: Noise in Image Sensors
University of Waterloo

The following resource is available only in Italian language:

- ★ Mauro Narduzzi - SkypointSrl
CMOS contro CCD. Fine di un'era?
<https://www.skypoint.it/it/blog/20-cmos-contro-ccd-fine-di-un-era-pt-1>

My free e-book about noise in image sensors, addressed to all photographers with some bonus for astrophotographers (Italian only, sorry):

- ★ Alessio Beltrame
Rumore e sensibilità ISO nei sensori di immagine
<http://www.alessiobeltrame.com/il-negozio/>

最后我的第一盏灯与**QHY163M**：



(view it on [astrobin](#))