



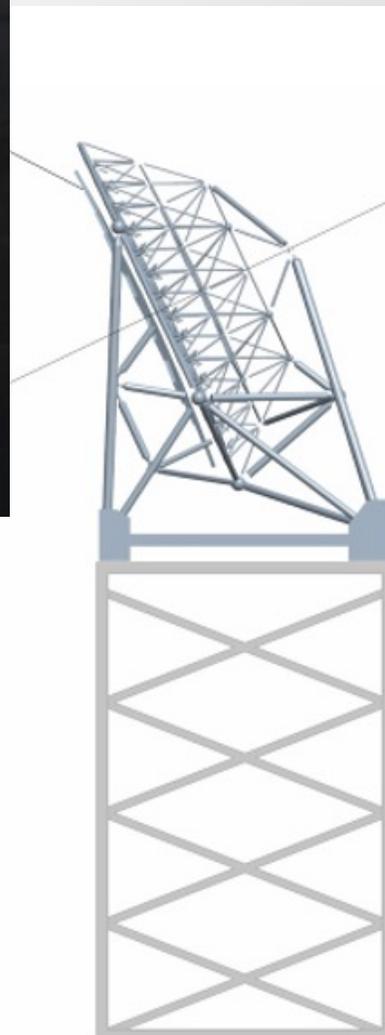
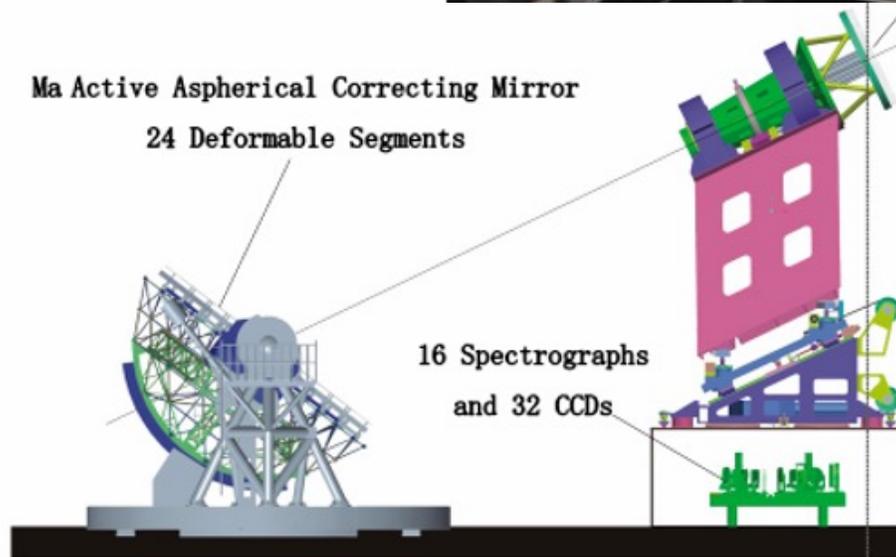
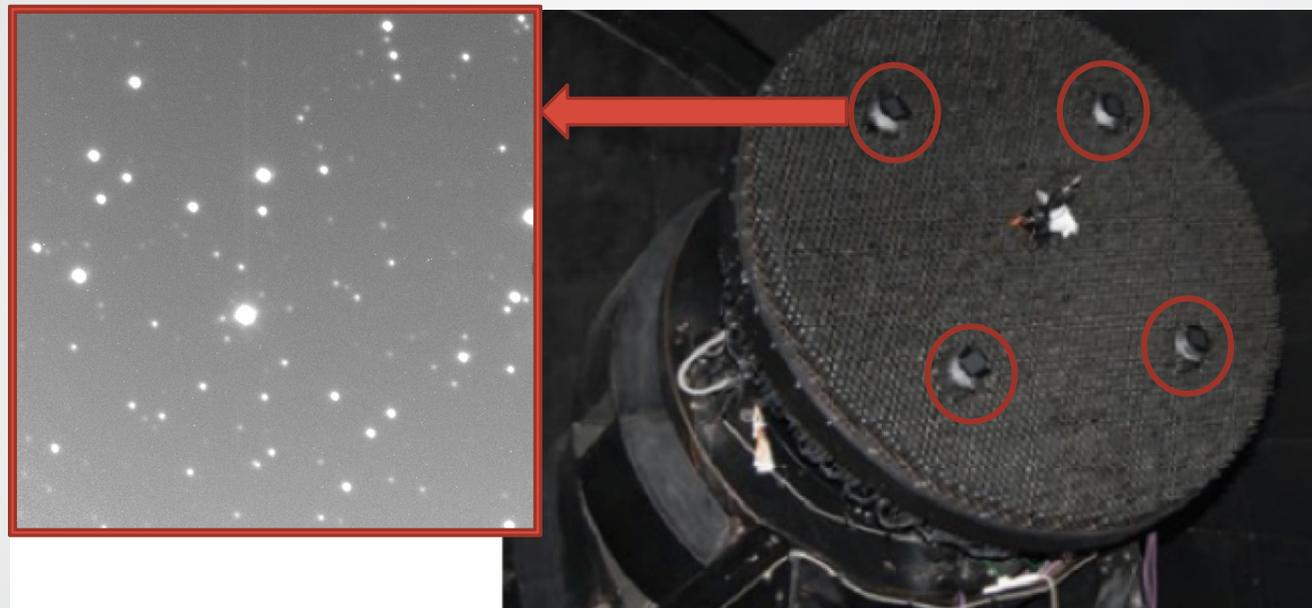
LAMOST新导星相机 特性和测试

王培培 谢正通

2022.7.20

LAMOST的导星系统

- 光纤对准天上的源是一个世界级工程难题。
- 导星系统就是LAMOST解决这个问题的核心。
- MA和焦面的运行会产生偏差，焦距受到热胀冷缩的影响需要修正。
- 导星相机图像可以修正上述的误差。

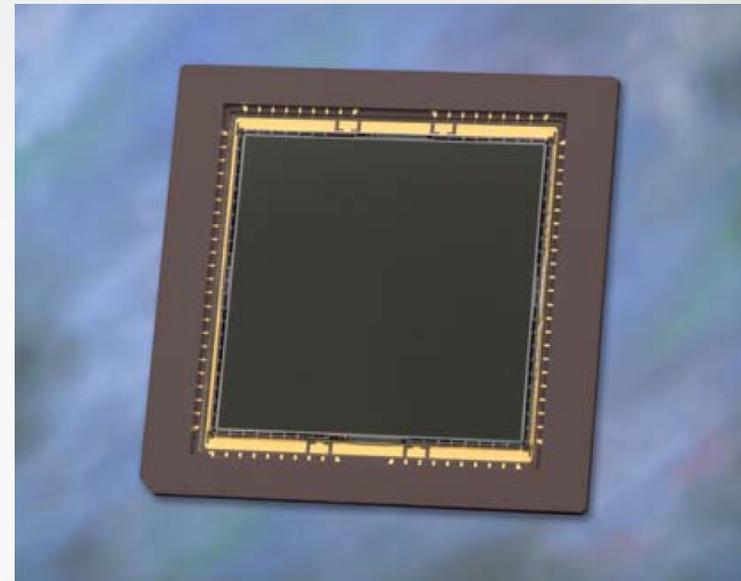


新导星相机的需求

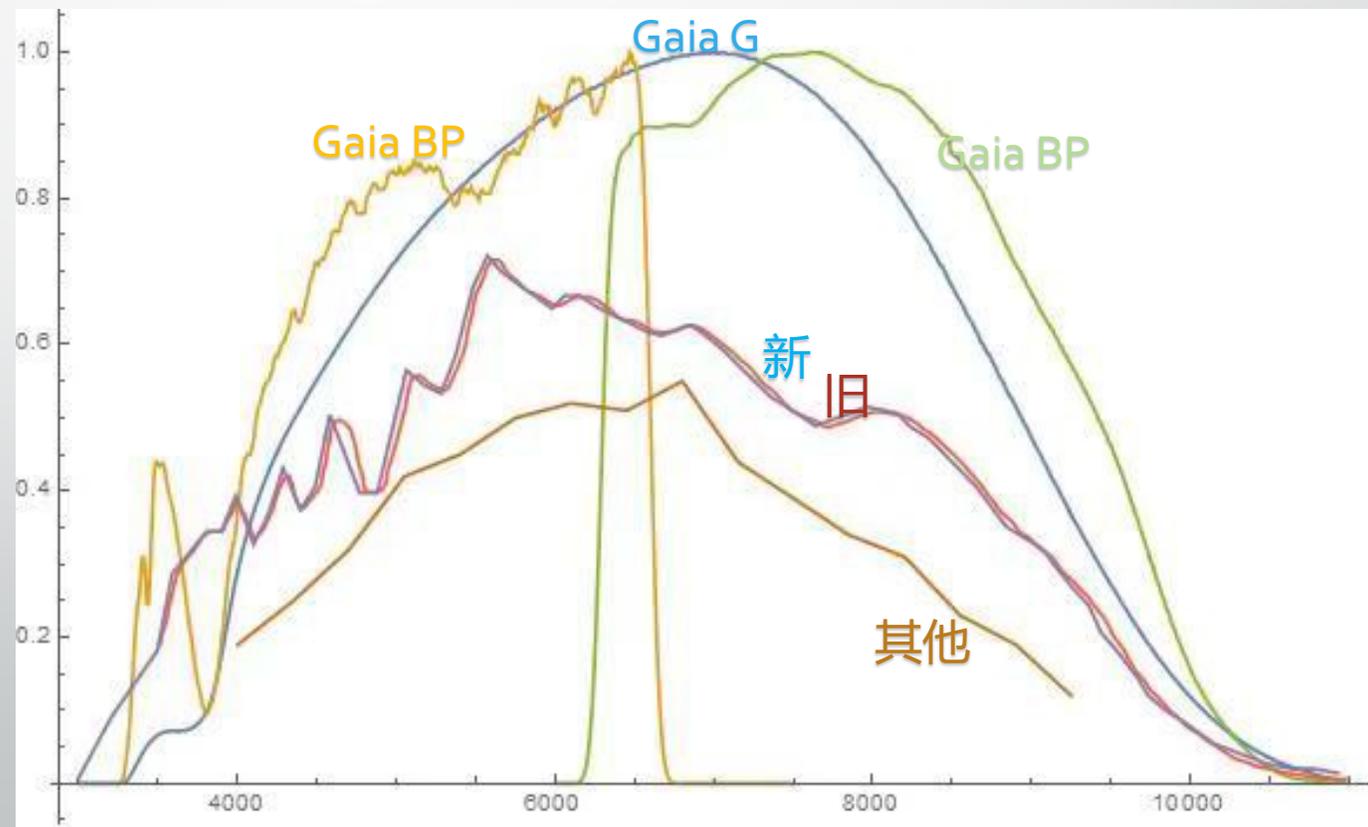
- 尺寸：相机大小兼容焦面预制的安装孔位内(整体设计的难度很大)。
- 像素大小：新旧相机像素尺寸一致，以实现系统的平滑过渡。
- 读出速度快：LAMOST以60秒为周期进行修正，扣除露光时间（30秒左右），解算时间（20秒左右），导星相机读出的时间上限约为10秒。
- 热控：相机位于LAMOST光路中，热量会影响Total Seeing，需要严格控制。
- 靶面大小：更大的靶面会利于引导星的选取（越大越好）。
- 上海天文台齐朝祥研究员主导，联合光速视觉邱虹云博士，国家天文台曹子皇，开展了新导星相机的设计和升级工作。

新导星相机的特性：靶面

- 特点：柯达KAF-4320为前照式CCD，在提供原相机4倍大小靶面的前提下提供了相同的像素大小和相应曲线，价格较（E2V）低廉，利于相机的升级工作。

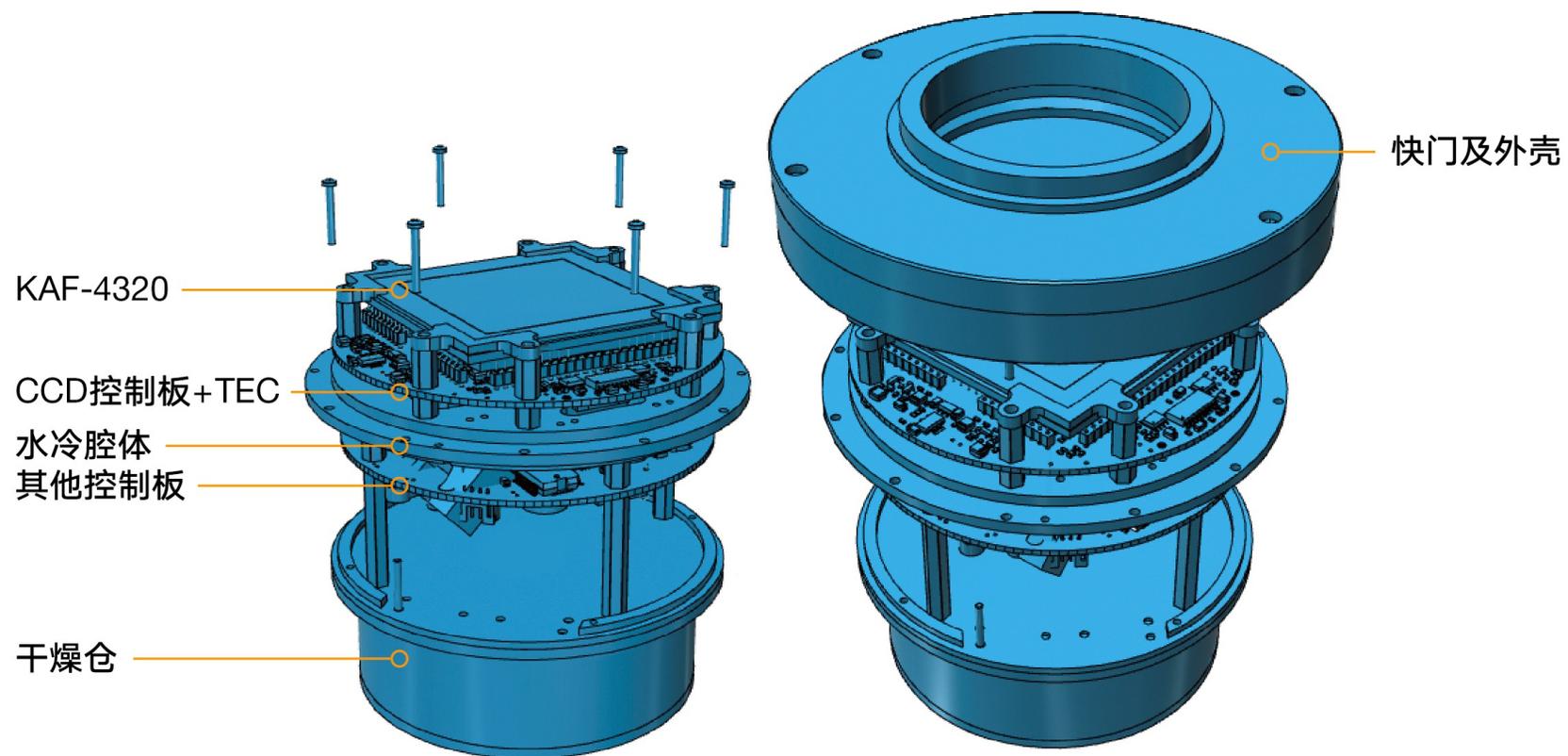


Parameter	Typical Value
Architecture	Full-Frame CCD
Total Number of Pixels	2092 (H) x 2093 (V)
Number of Active Pixels	2084 (H) x 2085 (V) = approx. 4.3M
Pixel Size	24 μm (H) x 24 μm (V)
Imager Size	50.02 mm (H) x 50.02 mm (V)
Die Size	8.4mm (H) x 5.5mm (V)
Output Sensitivity	10 $\mu\text{V}/\text{e}^-$
Saturation Signal	500,000 electrons
Readout Noise	20 electrons (3 MHz)
Outputs	4
Dark Current (T = 25° C)	<15pA/cm ²
Dark Current Doubling Temperature	6.4° C
Dynamic Range	20,000: 1
Blooming Suppression	None
Maximum Data Rate	3 MHz
Package	PGA Package
Cover Glass	Clear



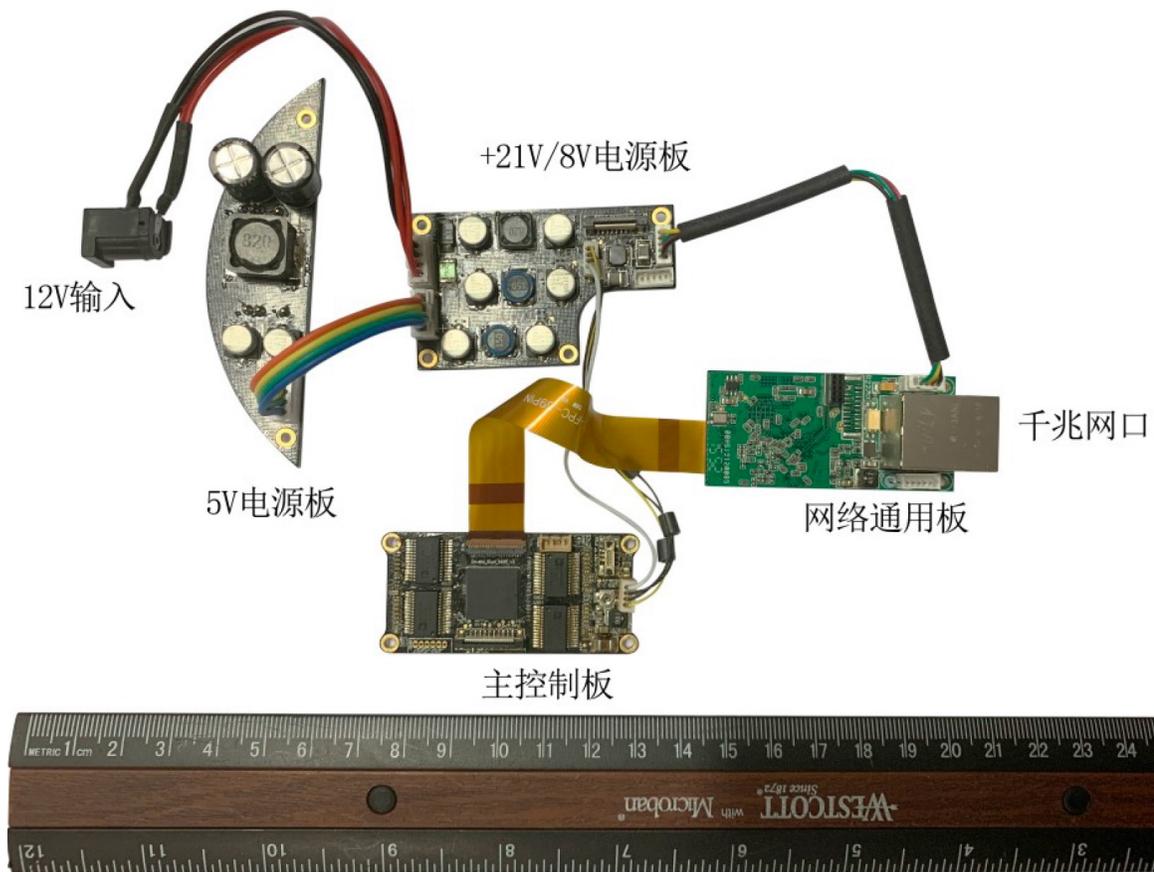
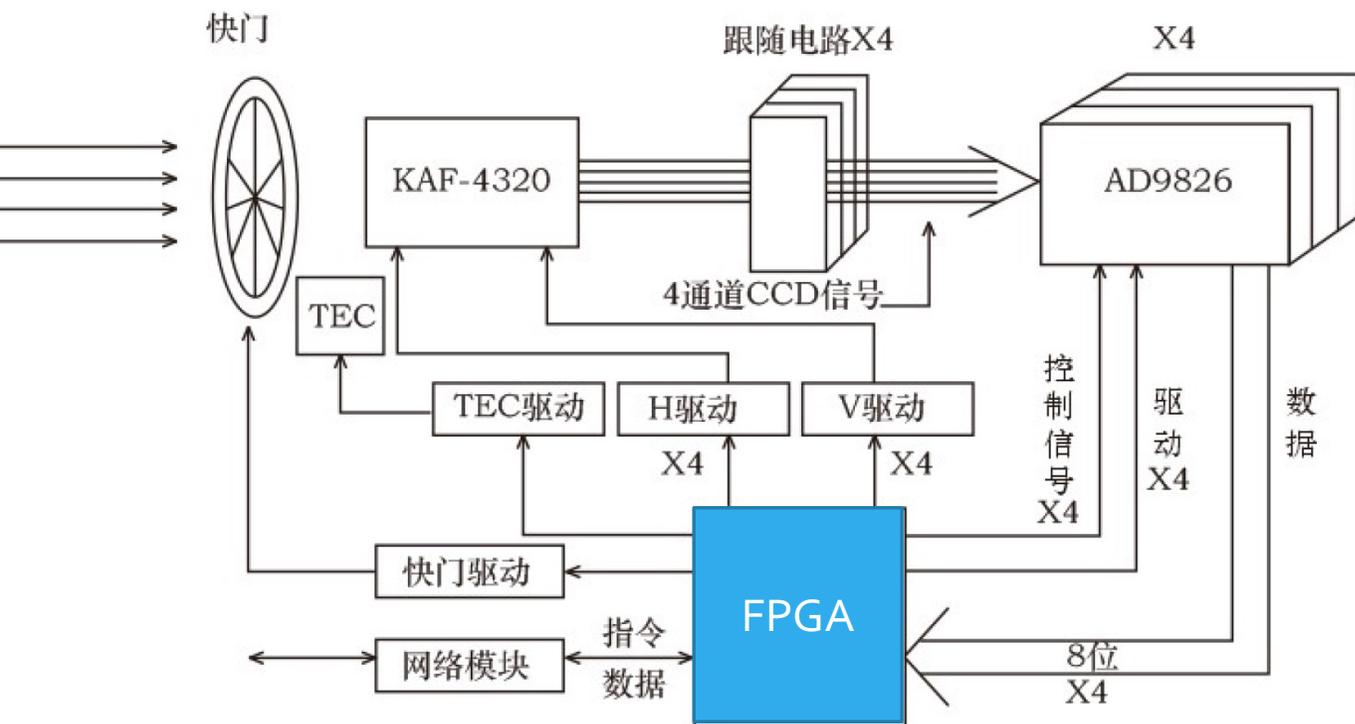
新导星相机的特性：结构

- 新导星相机外壳为圆柱形，直径120毫米，使用铝作为外壳材质。相机内部是围绕热控展开设计的，目的让CCD在工作在低温环境下，产生的热量由循环水带出焦面。为防止CCD结露，相机内部设计了一套干燥装置。



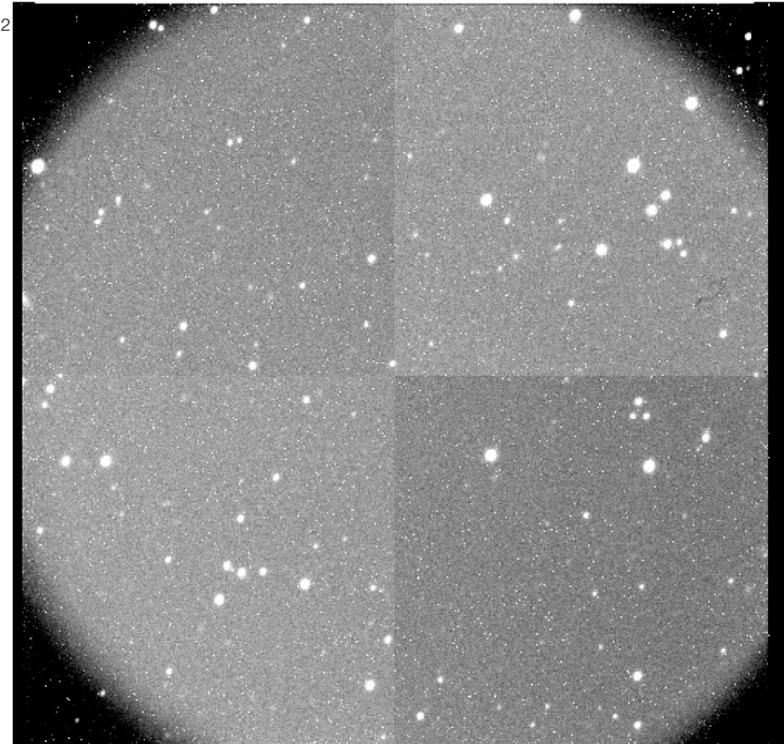
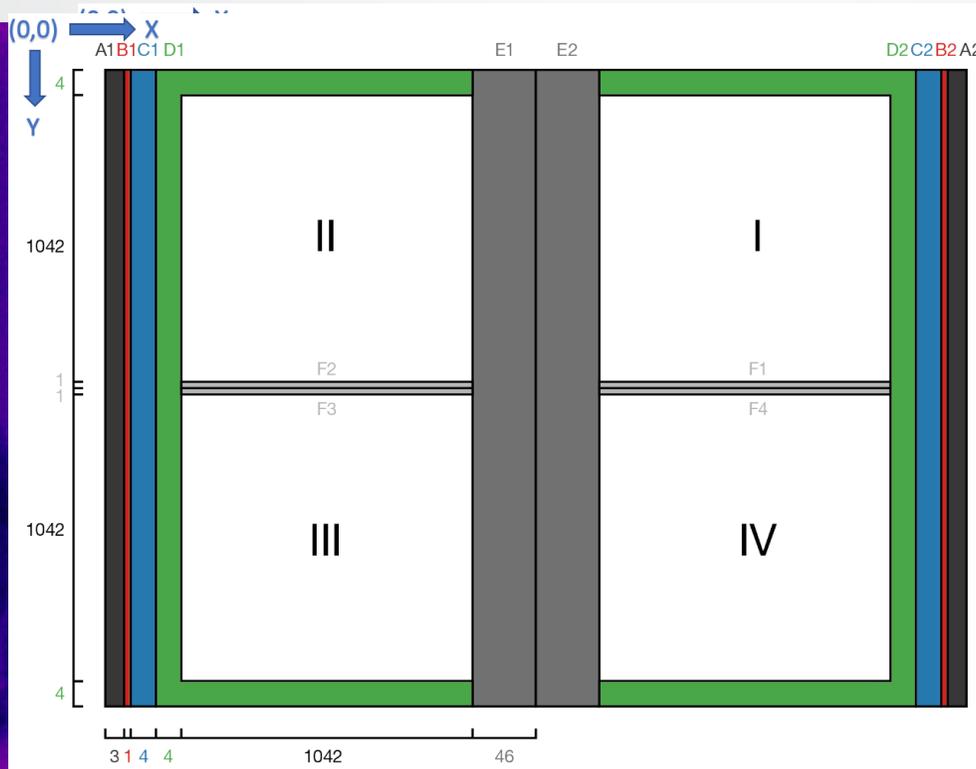
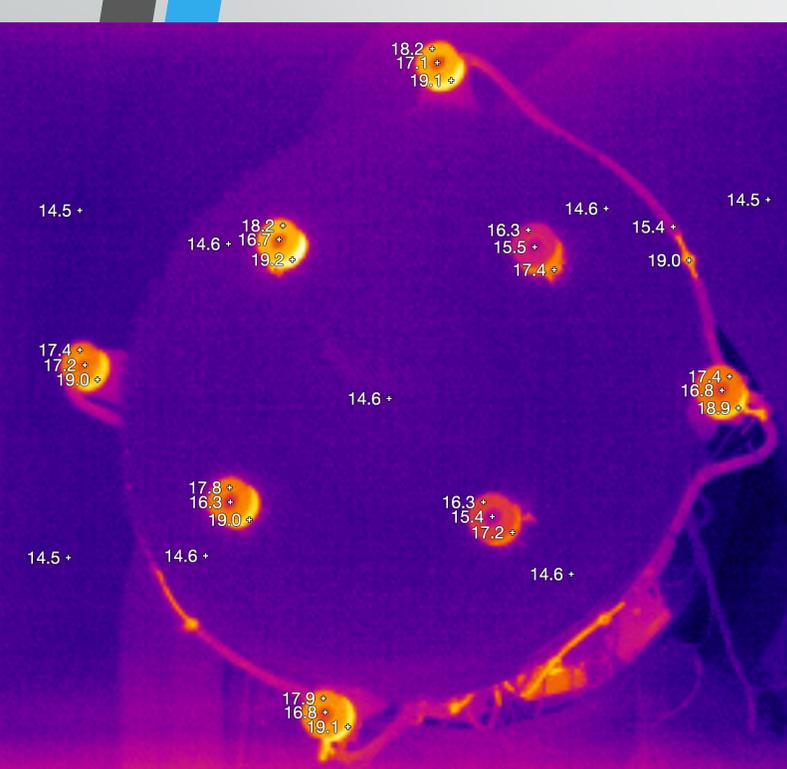
新导星相机的特性：电控

- 新相机围绕FPGA实现硬件和逻辑的控制：包括CCD和AD的驱动，CCD的读出，快门控制，制冷，图像缓存，数据传输等。
- 控制电路实现小型化和模块化，以适应需要并提升了可维护性。



当前概况

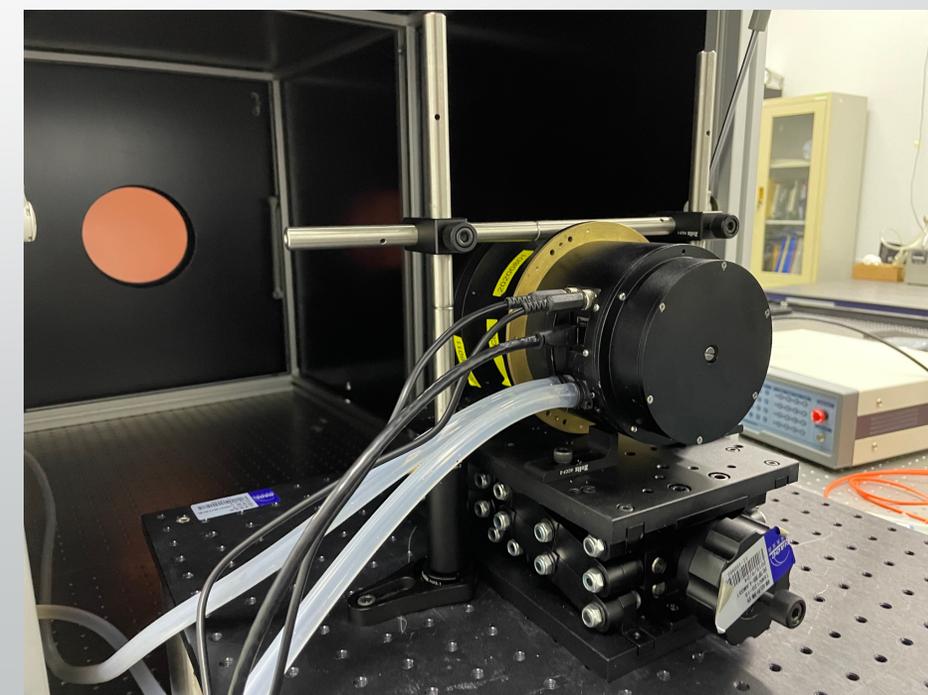
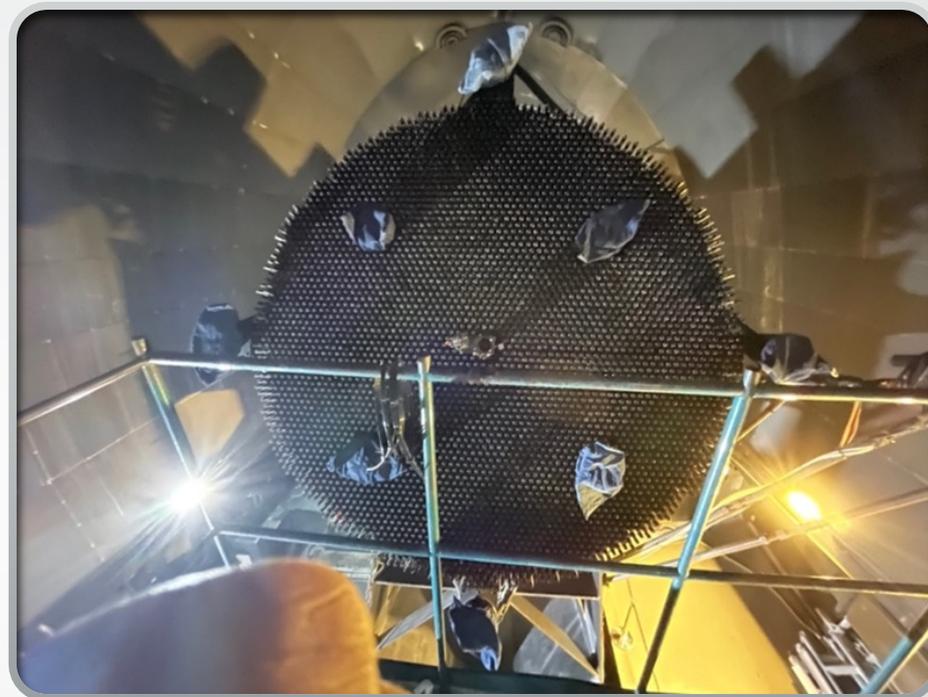
- 在硬件上：8台相机全部到位，总体稳定可靠；相机在有限的空间内提供了最大的靶面；设计上围绕热控降低了对焦面的影响
- 在软件上：从相机内部程序，全新通讯协议，控制软件全部为自主定制开发。
- 在运维上：由上海天文台牵头，LAMOST观测运行部高质量运行和维护。



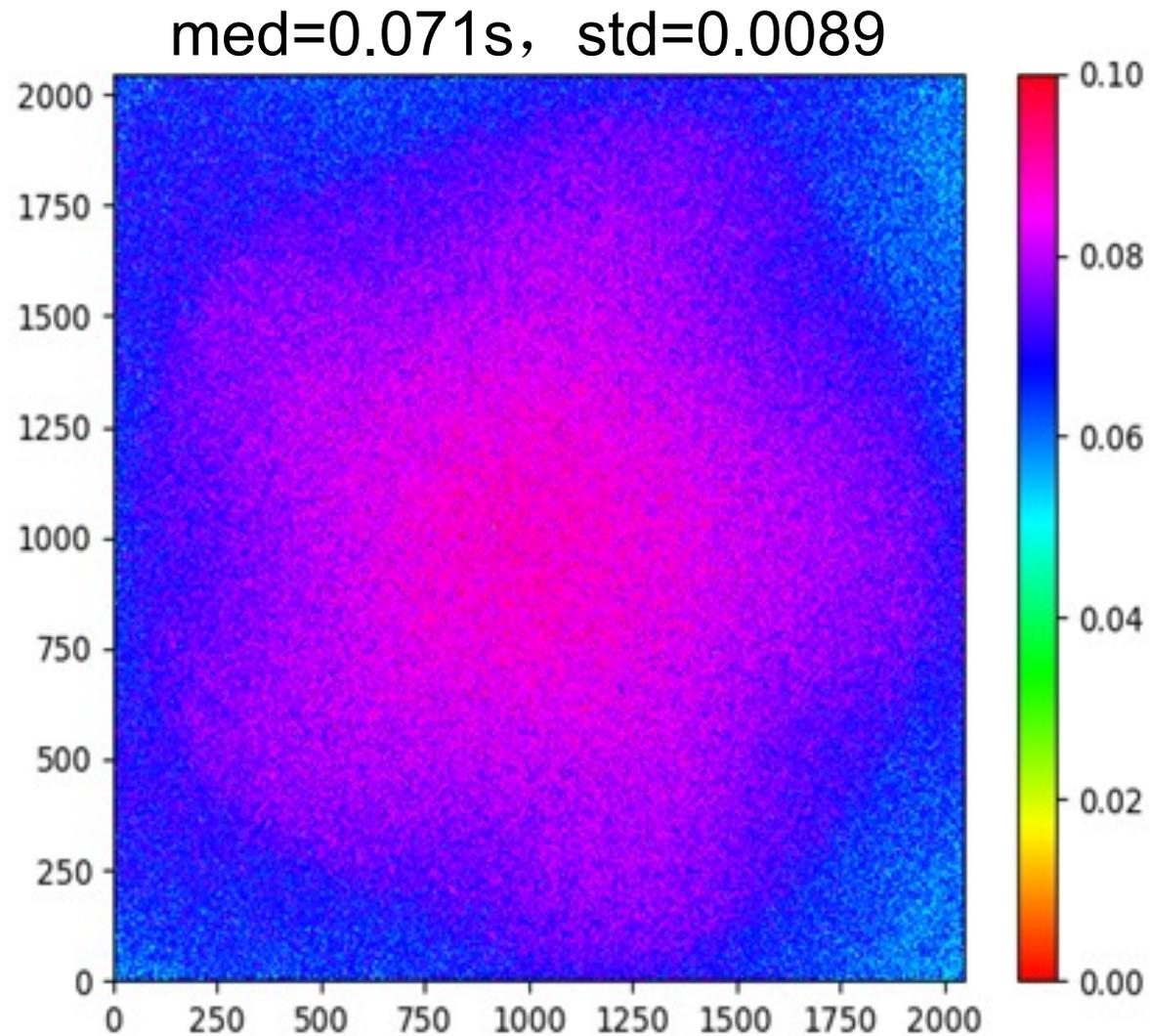
已完成的相机参数测试

- ✓ Dark稳定性 (Dark Stability)
- ✓ 读出噪声 (Readout Noise)
- ✓ 线性 (Linearity)
- ✓ 本底 (Bias)
- ✓ 电荷转移效率 (Charge Transfer Efficiency, CTE)
- ✓ 光子转移曲线 (Photon Transfer Curve, PTC)
- ✓ 增益 (Gain)
- ✓ 快门效应 (Shutter Effect)

相关论文正在撰写中...



高精度测量快门效应测量和改正



不仅仅是导星，我们还可以做更多...

天测

- 焦面姿态的检测
- 光纤框架整体精测和调整
-

测光

- 大气透过率
- 像质变化
-

科学

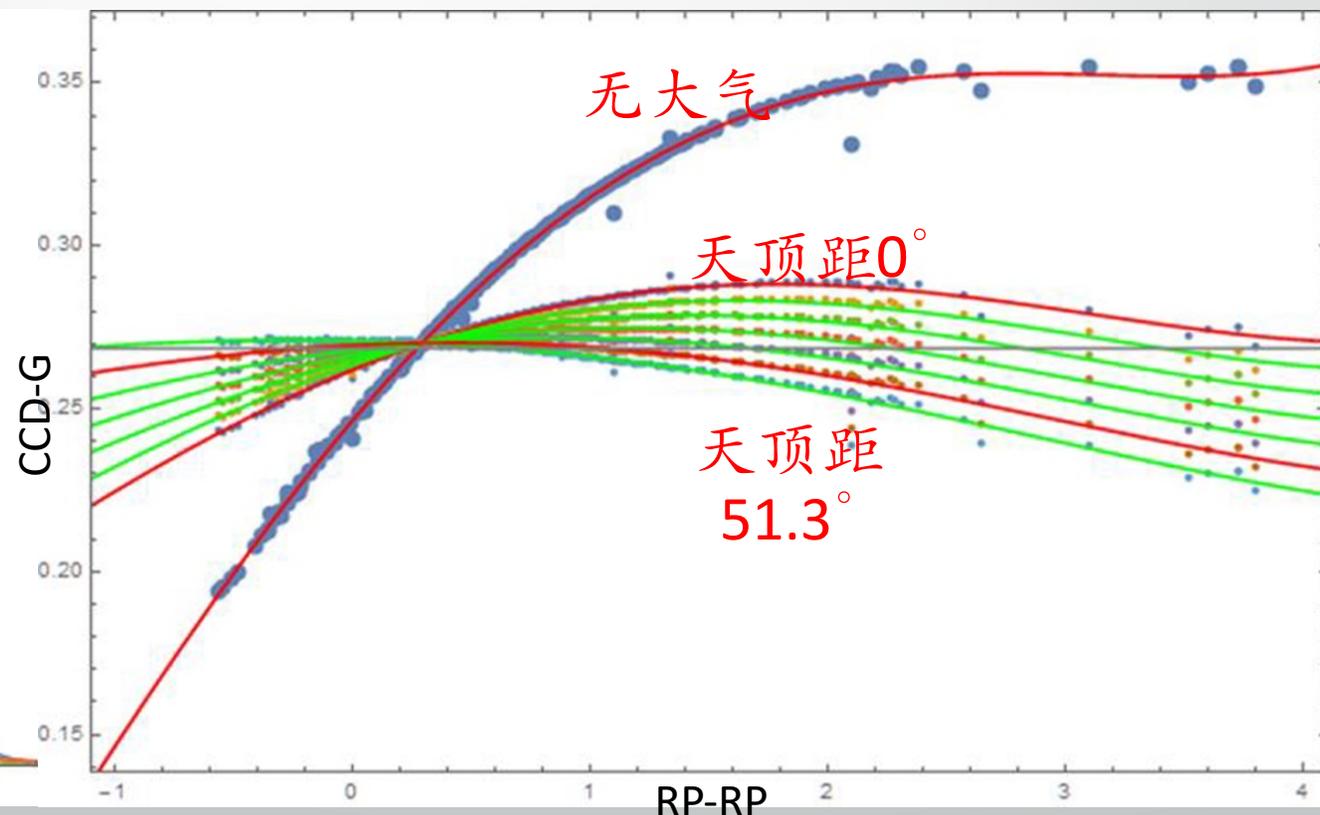
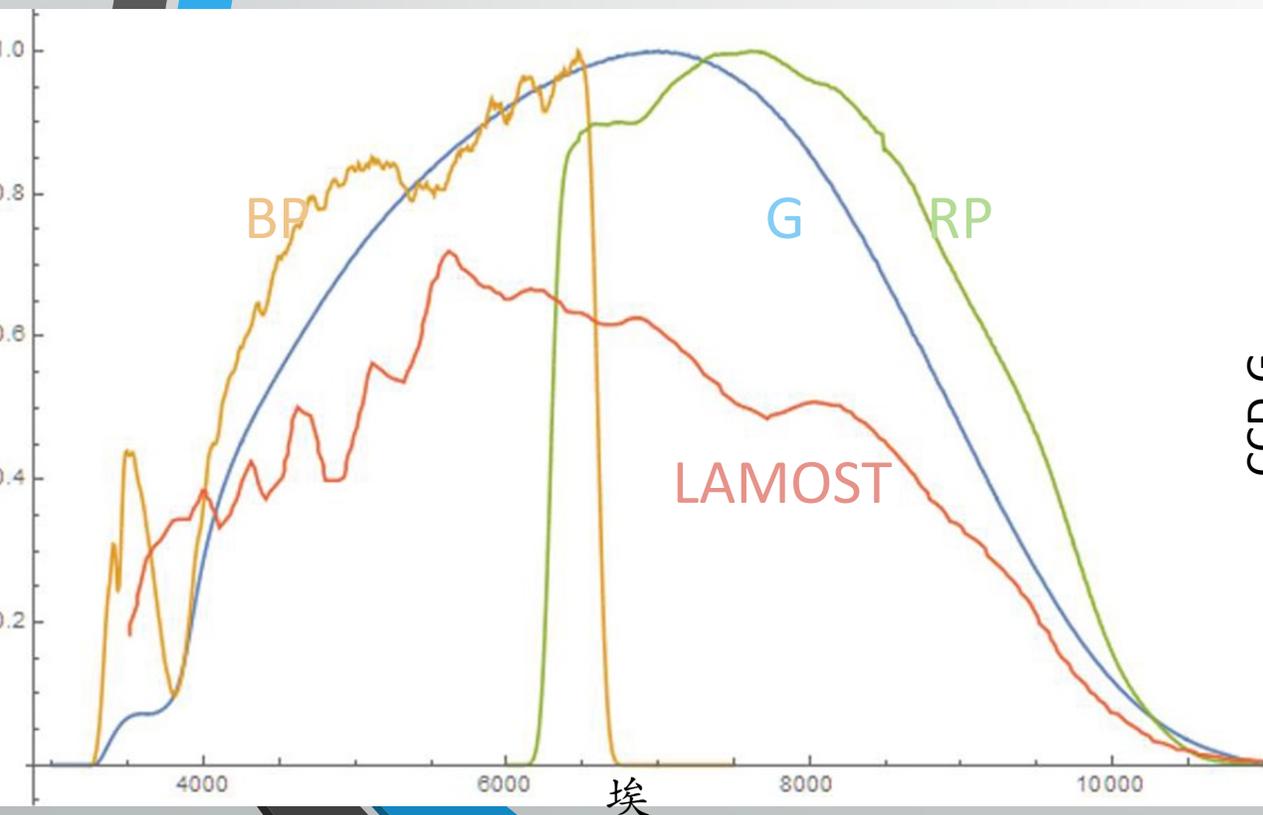
- 优化天区的选择
- 光变
- 暂现源

图像预处理Pipeline



导星CCD 无滤光片测光的建模

- **关键问题：**借助LAMOST光谱，建立恒星的高带宽高精度测光模型。将测光结果中与CCD响应，目标星颜色，大气质量相关的部分剔除，归一化为G波段的仪器星等。通过对仪器星等进行标定，获得测光零点。



My Dream...

谢谢!

新LAMOST工作流程

某日LAMOST 运行流程

日间维护

机器学习包括前一次观测的数据集更新 $SN = f(Cr, M)$

拍摄灯谱、幕布平场

打开圆顶

观测 1

观测 3

观测 3

观测 4

观测 N

观测 N+?

关闭圆顶

新观测流程

某次观测

MB共焦

计算所有候选天区SN分布

天区选择

望远镜指向天区

MA共焦

光纤调整

光纤定位

曝光

读出

曝光

读出

曝光

读出

MA共焦维持

导星 CCD连续拍摄并持续校正 MA方位、高度和焦面转角

持续计算 SN分布并计算和设定最优曝光时间

EVOLUTION

当前观测流程

某次观测

MB共焦

天区选择

望远镜指向天区

MA共焦

光纤定位

曝光

读出

QC

曝光

读出

QC

曝光

读出

QC

MA共焦维持

导星 CCD连续拍摄并持续校正 MA方位、高度和焦面转角