

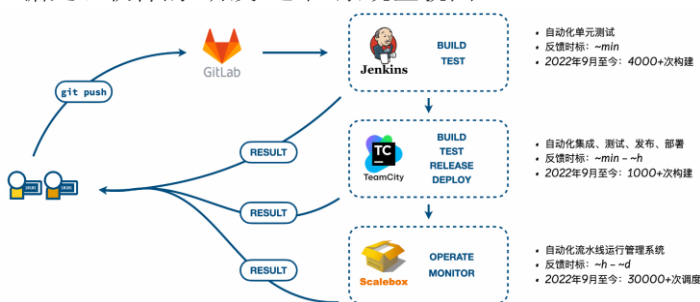
中期研制进展

流水线集成封装模块中期进展-

CSST 数据处理软件在设计上采用了分级、模块化的方式，每条流水线包含了基本信息、标准组件和若干个算法模块。在交付时采用 Docker 镜像形式，在可移植性、快速部署和版本控制等方面具有多种优势。

CSST 数据处理软件的“研发-运维”系统使用了国内外研发-运维行业流行的 DevOps 框架，以 Jenkins 和 TeamCity 两款 CI/CD 工具对数据处理软件进行持续集成、测试和部署。在研发阶段，每个模块的开发者提交代码到 GitLab 托管的相应代码仓库，并自动触发 Jenkins 进行单元测试，对模块功能进行测试并进行代码/注释规范检查，并要求单元测试覆盖率高于 90%，测试结束后每项结果会显示在 GitLab 仓库。在集成阶段，TeamCity 可以自动/手动进行流水线集成，将预先设定好的若干模块封装成 Docker 镜像，并进行整个流水线的测试（集成测试）。若测试通过则自动将 Docker 镜像推送至计算环境。在运维阶段，Scalebox 在云平台中以容器形式以既定的策略（自动/手动/定时）启动流水线，提供并行调度和容错支持。

截止 2023 年 8 月底，整个研发-运维系统已经集成了 12 条流水线，并进行了 >4000 次单元测试、>1000 次集成测试和 >30000 次调度运行，在不同颗粒度进行了充分的测试，通过了中期评估，同时为整个 CSST 数据处理软件的最终交付提供了坚实的基础。下图为 CSST 数据处理软件的“研发-运维”系统全貌图。



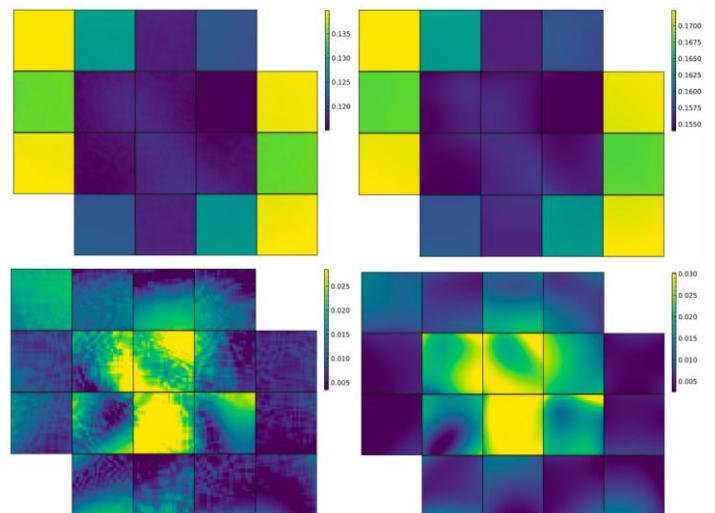
主巡天多色成像模块中期进展

主巡天多色成像开发完成了单次曝光处理流水线和星表合并流水线。流水线包括仪器效应改正、畸变拟合、位置定标、流量定标、星表提取和星表合并等多个模块。各个模块均通过了单元测试，并完成了测试报告。流水线基于 Cycle6 仿真数据提供的北银冠附

近 137 次曝光的多色成像图像数据进行了处理。处理后产生了 2466 个 1 级科学图像文件和对应的权重及标注图像，以及 2461 个单次曝光星表文件，193 个多波段星表文件，通过了中期评估。

1 级科学图像数据（IMG）是对原始图像进行偏置、暗流、平场、非线性、快门等效效应改正后，利用外部参考星表完成畸变扣除、位置和流量定标，并将流量归一化到电子/秒后的图像。流水线利用机器学习方法，对每幅图像中的 20 多万个宇宙线污染像元进行了标记，超过 98.5% 像元被正确标记。流水线还对图像中每个像元都进行了标记，包括坏像元、饱和像元、宇宙线和卫星轨迹等，并保存在标记（FLG）文件中。

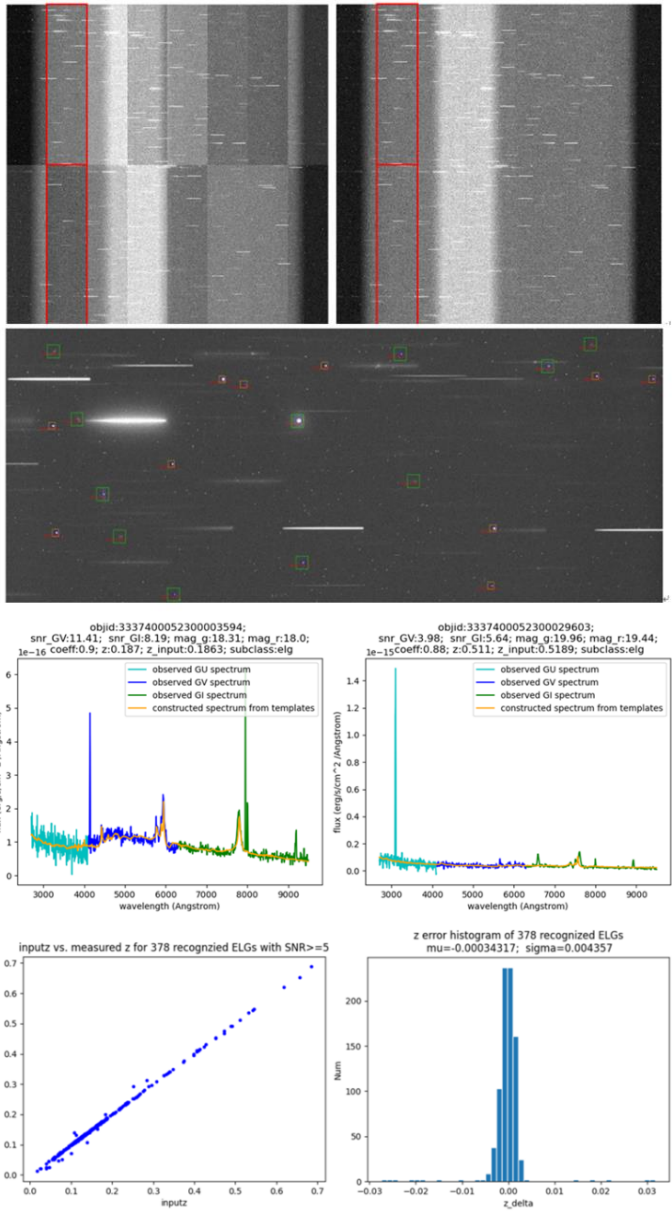
针对 Cycle6 仿真数据，流量定标精度和测光误差基本达到技术指标要求，并且可以通过 PSF 重构提供全视场的 PSF 分布及精度分析。对宇宙线探测，像场畸变改正等关键技术上都取得了重要的成果，确保了天体的位置和流量测量精度。下阶段的研制计划中，多色成像团队将考虑更多仪器效应的影响，并利用科学验证团队的分析结果，努力在位置定标和流量定标测量上提高精度。下图为仿真输入 PSF（左侧）和 137 次曝光数据重构的 PSF（右侧）的二阶矩大小 FWHM（上）和二阶矩椭率 e （下）在多色成像视场中的分布。



主巡天无缝光谱模块中期进展

主巡天无缝光谱数据处理软件已按照既定计划完成从 0 级数据（原始光谱图像）到 1 级科学图像数据，再到部分 2 级数据产品生成流水线的开发、调试和封装。流水线已经基于 Cycle6 仿真数据做了相关验证，主要完成并突破以下关键技术：仪器效应改正工作包，位置定标工作包，天光背景扣除工作包，点扩散函数重构工作

包，基于改进的 aXe 光谱提取工作包，自主开发的 CDE 光谱提取工作包，自主开发了 PSFMFM 光谱建模工作包等。另外，为了解决 CSST 无缝光谱无对应直接成像观测的硬件设计缺陷，专门开发了‘伪直接成像构建工作包’并自主研发了基于‘零级像’光谱识别与提取工作包。基于 Cycle6 仿真数据的初步验证结果表明：数据处理引入的星等测量误差基本满足技术指标要求；对于红移 $z=0-1$ ，信噪比 >5 的强发射线星系，光谱红移精度也基本达到技术指标要求（千分之五）。下图为无缝光谱数据处理结果示意图：其中上组图分别是 01 号探测器仪器改正前后图像（上）和基于‘零级像’光谱识别与提取示意（下）；下组图分别是抽取的一维光谱（上）和对光谱信噪比 $S/N>5$ 强发射线（Ha、OII、OIII）星系光谱红移精度统计（下）。



主巡天天体测量模块中期进展

CSST 天体测量团队已按照既定计划完成了对主巡天天体测量模块的软件编制及测试工作，包括单帧图像相对天体测量、太阳系天体定位、太阳系小天体轨道识别、干扰目标标记、恒星天体测量 5 参数计算，并顺利通过了中期评估。

单帧图像相对天体测量模块先后完成了四个测试项：（1）单探测器仿真数据 ICRS 参考框架下相对天体测量解算测试、（2）单次曝光仿真数据 ICRS 参考框架下相对天体测量解算测试、（3）单次曝光仿真数据 CCRS 参考框架下相对天体测量解算测试、（4）本地下载 Gaia 数据相对天体测量解算测试。全面评估了单帧图像相对定位结果的可靠性和精度，并且分析了各个滤光片的天体测量精度随星等的变化情况。

恒星天体测量 5 参数计算模块新增了两个子模块：（1）天文效应改正的模块；（2）天测 4 参数（位置和自行）计算模块，并先后完成了两个测试项：（a）天体测量 5 参数计算模块的可靠性测试；（b）基于单帧图像相对天体测量提供的数据，完成相关天体测量计算测试，评估了天体测量 5 参数解算精度。

针对近地天体的数据处理，太阳系天体定位模块完成了近地小行星搜寻测试；太阳系小天体轨道识别模块完成了小行星轨道类型识别工作包测试；干扰目标标记模块完成了线型目标识别功能测试，实现模块的基本功能并完成了各模块之间的输入输出衔接文件名称、格式和内容对接。下图为 MSC 单帧图像不同波段相对天体测量解算精度(上)及天体测量 5 参数解算精度统计(下)。

