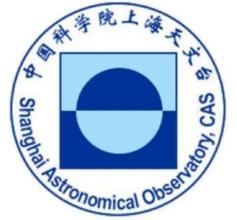




天马行空录



主办单位：中国科学院上海天文台

2020年12月31日

第27期

总第27期

【科学观测动态】天马望远镜圆满完成嫦娥五号采样返回 VLBI 测轨定位任务

嫦娥五号任务是中国探月工程“绕、落、回”三步走中的收官之战，是迄今为止中国空间探测任务中最复杂的一步。2020年11月24日4时30分，探月工程嫦娥五号探测器在中国文昌航天发射场，用长征五号运载火箭成功发射升空，并进入地月转移轨道。历经112 h长途飞行并实施2次中途轨道修正后，探测器抵达月球，再经过2次近月制动顺利进入环月圆轨道。此后，探测器经历组合体分离、环月降轨及动力下降，着陆器和上升器组合体于12月1日23时11分在月球正面风暴洋东北部预选区域着陆并开展采样工作。12月3日，上升器点火起飞并精准入轨，于6日完成与轨道器和返回器组合体之间的交会对接及样品转移，此后按计划分离并受控落月。12月12日至16日，轨道器和返回器组合体在完成2次月地转移入射、2次轨道修正后，返回器于12月17日与轨道器分离并重返地球。2020年12月17日1时59分，探月工程嫦娥五号返回器在内蒙古四子王旗预定区域成功着陆，这标志着中国首次地外天体采样返回任务圆满完成。

嫦娥五号探测器在一次任务中，连续实现中国航天史上首次月面采样、月面起飞、月球轨道交会对接、带样返回等多个重大突破，为中国探月工程“绕、落、回”三步走发展规划画上了圆满句号。同时，嫦娥五号任务作为中国复杂度最高、技术跨度最大的航天系统工程，成功实现了多方面技术创新、突破了一系列关键技术，对于中国提升航天技术水平、完善探月工程体系、开展月球科学研究、组织后续月球及星际探测任务，具有承前启后、里程碑式的重要意义。



图1 天马望远镜接收的嫦娥五号探测器信号

VLBI 测轨分系统是探月工程嫦娥五号任务测控与回收系统的重要组成部分。天马望远镜作为 VLBI 测轨分系统的重要测站，从11月24日15时22分开始，至12月17日13时50分结束，全程执行嫦娥五号探测器全部11个飞行段中9个飞行段的 VLBI 测定轨任务。在天马测站全体参试人员的共同努力下，天马测站每日在嫦娥五号探测器可见弧段跟踪观测时间约为12小时，任务期间65米天线、X波段致冷接收机、CDAS2-D 数字终端、FS 系统、时频系统、运控系统为核心参试设备工作正常，连续24天设备零故障、操作零失误、数据有效率100%，为嫦娥五号探测器 VLBI 测定轨任务的圆满成功提供了有力支撑。

在任务准备期间，团组成员对天马望远镜及其关键设备进行了维修维保，安装测试了深空探测器专用 VLBI 一体化终端，开展了各种演练等。同时，团组技术人员还分别前往密云50米、昆明40米、乌鲁木齐26米测站进行设备巡检和性能测试，并在执行任务期间去密云测站支援，为圆满完成任务做出了贡献。



图2 天马测站参试人员合影

【科学观测动态】FAST-TMRT-Parkes 联合实施快速射电暴的 VLBI 观测实验

2020年11月19日，500 m口径球面射电望远镜（FAST）、天马望远镜（Tianma 65m）联合澳大利亚 Parkes 64m 以及 Mopora 22m 射电望远镜，成功实施了甚长基线干涉测量（VLBI）联合观测。这是 FAST 首次参与的国际 VLBI 联测。

与以往观测已知强源的常规条纹检测试验不同，此次观测的目标源为 FAST 发现的一颗重复快速射电暴（FRB），旨在通过 VLBI 对 FRB 及其可能宿主源进行高精度的定位，为揭示 FRB 起源提供关键信息。观测期间，上海天文台 VLBI 团队实现了对 FAST 台站 VLBI 观测终端的远程控制，以及对观测数据的快速相关处理，为组建以 FAST 为核心的低频 VLBI 网完成了关键步骤。所有基线均获得了干涉条纹，表明此次 VLBI 观测实验取得了成功。通过对数据的初步处理，发现疑似 FRB 宿主源的位置，而 FRB 的数据处理也在进一步推进之中。

此次 VLBI 观测实验的成功，表明 FAST 已可参与国际 VLBI 联测。FAST 与包括天马望远镜在内的国内外望远镜联合组网，可建成由中国主导的灵敏度最高的低频 VLBI 网，对于提升中国在 VLBI 观测研究领域的国际地位具有重要意义。

【技术维护与发展】EAVN 宽带条纹测试实验

天文观测中最重要的性能参数之一是灵敏度。为了提高灵敏度，除了增大望远镜口径外，还可以通过增加采样信号的带宽使其进一步提升。宽带技术是毫米波 VLBI 技术发展的方向，它不仅能提高灵敏度，还能减少信号通道之间的校准误差等。东亚甚长基线干涉测量网（EAVN）常规天文观测中，记录的是多个子通道总带宽为 256 MHz 的左旋圆偏振信号，对应的记录速率为 1 Gbps。天马望远镜在引进和安装新一代宽带 VLBI 数据采集终端 DBBC3 后，可以支持更高记录速率的 VLBI 天文观测。天马望远镜联合 EAVN 其它台站于 2020 年 10 月 22 日、11 月 11 日和 15 日分别在 22 GHz 和 43 GHz 频段进行了宽带 VLBI 测试，采集和记录了单通道 512 MHz 带宽的左右旋双偏振信号，记录速率达到 4 Gbps。数据采用上海 DiFX 相关处理机进行处理，并成功获得 22 GHz 和 43 GHz 的宽带 VLBI 干涉条纹（见图 3）。这说明天马望远镜及 EAVN 已经基本具备 4 Gbps 记录速率下的宽带 VLBI 观测能力，后续 EAVN 宽带观测的成图测试和性能评估将于 2021 年上半年进行，并择机对外开放。

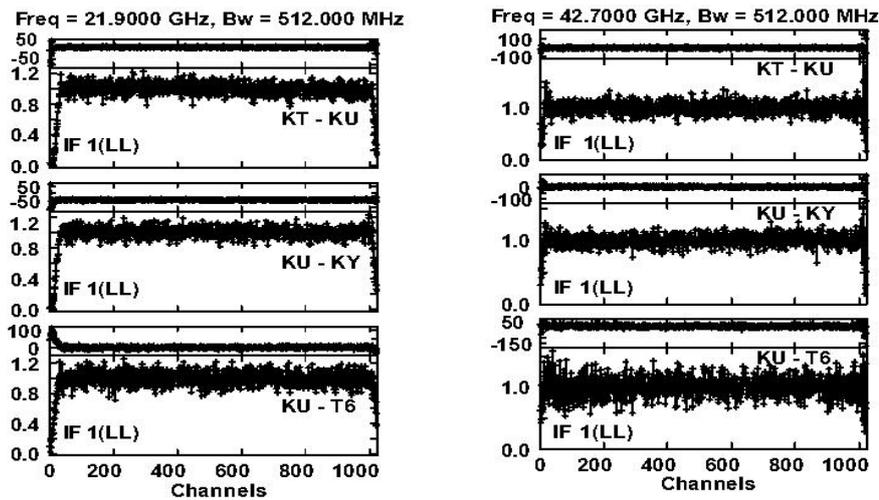


图3 2020年11月11日(左, 22 GHz)和15日(右, 43 GHz) EAVN 宽带 VLBI 测试观测的干涉条纹结果

【技术维护与发展】K 波段七波束低温接收机研制进展

2019年11月, 天马望远镜接收机组完成 K 波段七波束低温接收机馈源网络的电性件测试和单波束通道调试, 如图 4 所示。项目组继续对馈源网络做相应的优化和改进, 进一步提升馈源网络的插入损耗、圆极化轴比、输出端口驻波、端口隔离度等核心指标。已经完成了 90° 移相器和正交模转换器的二次改版设计, 目前正在加工中。

另外, 项目组完成了 K 波段下变频单元, 包括 A 模式和 B 模式, 见图 5。其中 A 模式为将 17~27 GHz 的射频信号下变频至中频信号, 中频信号有三种带宽可选: 100~512 MHz、100~1 024 MHz、100~2 100 MHz, 适应于不同的观测模式和数字终端, 合计 14 个通道; B 模式为将 17~27 GHz 的射频信号下变频至 2~12 GHz 的中频信号, 通过 1~12 GHz 光纤传输系统低插损传输至 400 米外的观测室, 通过 DBBC3 数字终端直接进行采样, 对 K 波段全频段进行同时观测。B 模式的通道数为 4 个, 主要满足甚长基线干涉测量的观测需求。

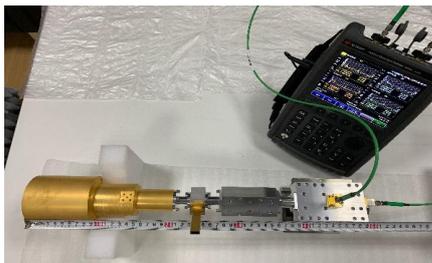


图 4 K 波段馈源网络电性件测试

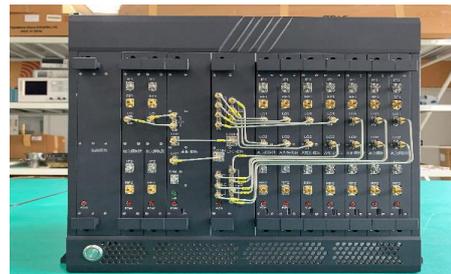


图 5 K 波段下变频单元 (A 模式和 B 模式)

【技术维护与发展】宽带谱线终端研制进展

为提高谱线观测带宽以及多波束的观测能力, 项目组于 2020 年采购了宽带谱线终端的硬件。为了得到稳定的性能, 项目组将模数转换器(ADC)采样时钟固定为 4 096 MHz, 在 FPGA 里通过数字信号处理的办法得到多种工作模式, 即具备不同带宽和频谱分辨率。目前硬件和 FPGA 开发工作已基本完成。最近项目组在开发宽带谱线终端自身的控制软件, 主要包括: (1) FPGA 的并行加载软件。在硬件调试阶段 FPGA 加载通过专用加载器实现, 这种方式在实际工作时不能实现。FPGA 并行加载软件将多个加载文件放置于硬件电路板的存储芯片里, 根据指令选择相应的加载文件并行地写入到 FPGA, 实现加载的方便和快捷。(2) ADC 和 FPGA 数

据接口的自校准软件。数据接口采用 LVDS 传输数据和时钟，同步精度要求极高，由于硬件之间的差异以及负载的不同，每套硬件在加载完成后需要自校准，以 79 ps 为步进微调数据接口的时延，使得 FPGA 正确接收 ADC 的数据。该软件自动化地完成该部分工作。

(3) 以网络为基础的控制软件架构。该软件架构将接收网络指令，并对宽带谱线终端进行设置，是与上层软件通信的基础。

为了完成宽带谱线观测系统，项目组后续将继续开发数据记录软件，以及与望远镜控制系统通信的软件。目前数据记录软件正在开发中，如图 6 所示，谱线终端与记录服务器与 10 Gb 网络连接。



图 6 宽带谱线终端和数据记录服务器

【观测运行动态】观测情况统计

2020 年天马望远镜总运行时间为 6 358 h，其中单天线观测 2 314.5 h，VLBI 观测 2 026 h，各项测试 1 329.5 h，天线维修保养 688 h。

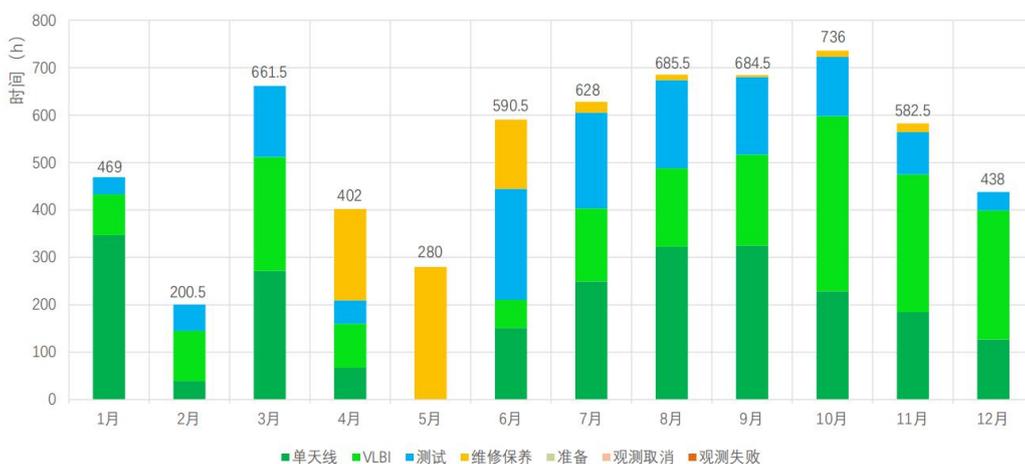


图 7 天马望远镜 2020 年运行时间统计

**衷心祝愿：牛年大吉！
万事如意！**

为春节期间连续值班执行天问一号 VLBI 测定轨任务的同事们加油！

中国科学院上海天文台

[网址] <http://shao.ac.cn/>

[地址] 上海市徐汇区南丹路 80 号

[邮政编码] 200030

编辑：何雯婷 王彩虹

审核：刘庆会

签发：沈志强