

实时动态双目标同波束 VLBI 用于嫦娥五号探测器 精密测定轨和月面定位

嫦娥五号（CE-5）任务是我国复杂度最高、技术跨度最大的航天系统工程，首次实现了我国地外天体采样返回。CE-5 包括轨道器、上升器、着陆器和返回器 4 个探测器，测控目标最多、技术难度最大。由中国科学院上海天文台、国家天文台、新疆天文台和云南天文台所属设施共同组成的探月工程测控系统 VLBI 测轨分系统，成功实现实时动态双目标同波束 VLBI 测轨等多项技术创新，突破一系列技术难题，圆满完成了 CE-5 测轨任务，为探月工程“绕、落、回”三步走发展规划如期完成做出了突出贡献。

在任务前，VLBI 分系统对 4 个观测站及上海 VLBI 中心进行升级，大幅提高 VLBI 测量精度、可靠性，满足对多探测器测轨需求，特别是：（1）研制首个实时 X 频段动态双目标同波束 VLBI 测轨系统，具备多目标任务规划、双目标干涉信号处理、定轨、定位及月面基准测定能力；（2）研制新型深空探测专用 VLBI 终端，具备 16 通道数据实时采集、记录、传输一体化功能；（3）首次建立 VLBI 信号仿真平台，用于动态双目标测轨能力检验。

CE-5 从 2020 年 11 月 24 日发射到样品回收，历时 23 天，包含 20 余次轨控和数次探测器分离，测控事件频繁，轨道变化复杂。VLBI 完成了地月转移、近月制动、环月飞行、动力下降、月面工作、月面起飞、交会对接与样品转移、环月等待（含上升器受控落月）、月地返回等 9 个飞行段实时测轨工作，在月面软着陆采样、月面起飞、月球轨道交汇对接和月地入射控制等关键测控事件中发挥了不可替代的重要作用，实现了多项技术突破：

（1）首次完成月面起飞基准高精度测定，并在探测器动力落月和月面起飞过程中，全程精确测量，快速提供运动轨迹，确保上升器携样品准确进入月球轨道；

（2）首次采用单一 VLBI 网，对动态双目标（轨道器、上升器/着陆器）进行了同波束干涉测量，为人类首次月球轨道无人交会对接提供了精准导引；

（3）采用探测器多信标融合测量技术，大幅提高了在多探测器复杂电磁环境下 VLBI 抗干扰能力；

(4) 首次完成上升器受控落月飞行轨迹、落点坐标及时刻快速高精度确定。

在任务中，VLBI 时延达到 0.4ns，时延率达 0.4ps/s，环月轨道精度优于 30m，月面起飞基准为 60m，实时性达 15s，全面优于任务指标。

2020 年 12 月 25 日，北京航天飞行控制中心向上海天文台发来感谢信，称赞 VLBI 分系统“高标准、圆满”完成了 CE-5 测轨任务，“表现出了高超的业务水平、过硬的工作作风和高度的敬业精神”。

