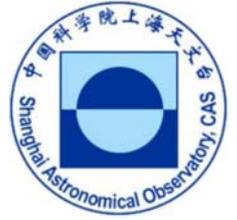




天马行空录



主办单位：中国科学院上海天文台

2016年12月31日

第12期

总第12期

【技术维护和发展】K波段双波束致冷接收机投入运行

经过两年时间的技术攻关，上海天马望远镜项目组成功研制了国内首套 K 波段双波束致冷接收机，并于 2016 年 5 月 4 日成功安装于天马望远镜。K 波段致冷接收机的主要技术特点在于：工作频率为 18~26.5 GHz，相对带宽达到 38%，覆盖 WR42 标准波导全频段，观测能力与 GBT、EVLA、SRT 等国外射电望远镜相当；采用了国际领先的整体致冷技术，包括馈源、极化器、前置低噪声放大器为核心微波器件优化布置在制冷机二级低温平台，最终实现前置低噪声放大器工作环境温度低于 10 K，馈源口面最高温度测量值低于 35 K，最大限度地降低了器件热噪声；在科学院修缮购置项目一射电致冷接收机系统试验平台的支持下，项目组自主研发了高性能宽带馈源、90°波导移相器和正交模耦合器等核心无源器件，全频带轴比好于 1 dB，插损小于 0.5 dB；整机采用了双波束双圆极化结构，双馈源平行放置，且中心距离仅为 110 mm，保证了接收效率和旁瓣抑制，双波束双圆极化共计 4 路宽带中频输出，最大中频带宽 2.5 GHz，具备在线校准功能，提高了观测效率和基线平坦度；采用了小型化和轻量化设计，整机重量为 87 kg。

K 波段双波束接收机完成天线安装后开展的一系列系统测试和试观测表明，接收机噪声温度约为 20 K，达到国际先进水平。系统噪声为 40~70 K（多云天气），扣除接收噪声后的天线噪声（包含大气和天空背景）为 20~50 K，天线效率好于 50%（最佳仰角），SEFD 好于 60 Jy（最佳仰角），符合设计预期。K 波段双波束致冷接收机的成功安装和试观测为天马望远镜又增添一台观测利器，为进一步开展相关谱线和脉泽的射电天文观测研究做好铺垫。



图1 K波段接收机完成实验室测试

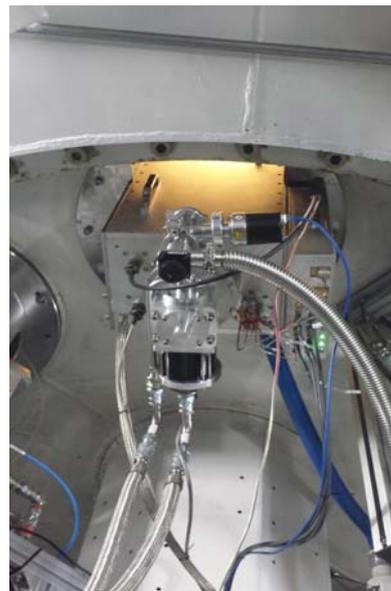


图2 K波段接收机完成天线安装

【技术维护和发展】天马望远镜指向测试取得重要进展

项目组成员通过基于千分尺的机械测量法和基于卫星信号的射电扫描法，发现天马望远镜天线系统的俯仰机械轴和码盘连接轴具有不同步性，其对外表现为正反向指向检测不一致，偏差约 5”。此后，与中国电子科技集团第五十四研究所进行了深入的技术交流，双方一致认为这是由于俯仰机械轴和码盘连接轴扭转刚度不够或有应力存在，导致转动不完全同步。2016 年 12 月 9 日对俯仰码盘和机械轴的连接轴进行了替换升级，新轴比旧轴扭转刚度增加了 4.6 倍。升级后在大齿轮上测量的正反向不一致性得到明显改善，在 50° 俯仰上比原来改善 3 倍，在 70° 和 30° 上改善 2 倍。

2016 年 12 月 20 日晚，在码盘轴更换后进行了首次全天区指向测量，测量频段选择 Ku 波段（14.5 GHz~15.5 GHz）。测试结果表明：方位指向误差均方根为 2.8”，俯仰指向误差均方根为 3.5”，综合误差达到 4.5”。这与换轴之前俯仰误差均方根 7.4”相比有显著的提升。方位和俯仰的拟合残差分别见图 3 和图 4，综合指向误差见图 5。

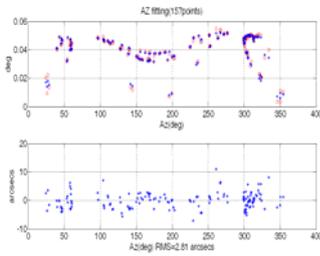


图 3 方位模型拟合误差

上图：红色表示偏差实测量；蓝色表示模型拟合量；下图：观测量和拟合量的残差

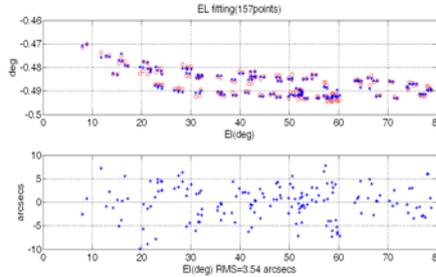


图 4 俯仰模型拟合误差

上图：红色表示偏差实测量；蓝色表示模型拟合量；下图：观测量和拟合量的残差

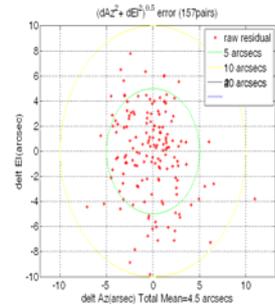


图 5 方位、俯仰综合指向误差

【技术维护和发展】主动面系统取得重要进展

近期项目组成员采用离焦全息测量法 OOF 成功测量各仰角的主反射面重力形变（测量的部分结果如图 6 所示），并将测量结果加载到主动面模型中。各仰角主动面开启后和开启前的效率提升比率如图 7 所示。目前在俯仰 15°~75° 范围，修正后的主反射面照明加权均方根好于 250 μm，40 GHz 的波束宽度在 26”±0.5”，且面型误差引起的旁瓣被有限抑制，满足 Q 波段天文观测要求。为准确测量主反射面重力形变，项目组成员建立了天马望远镜的指向和焦距快速修正系统。在测量重力形变之前，采用此系统可快速修正望远镜的指向和焦距，极大地降低指向和焦距的偏差对主反射面重力形变测量的影响。目前，天马望远镜的离焦全息测量法误差小于波长的 1%，并已实现全自动化，可快速测量主反射面形变、实时处理数据、实时调整主动面，达到国际先进水平。

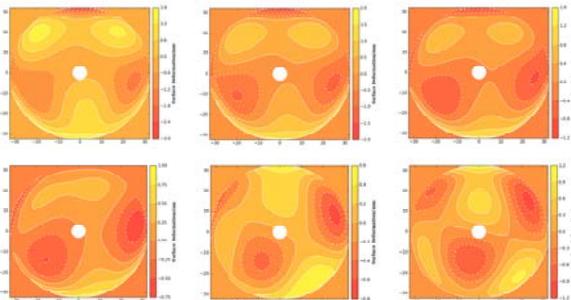


图 6 主反射面重力形变部分测量结果图

从左到右，从上到下的俯仰角分别为 20°，30°，40°，50°，60° 和 70°

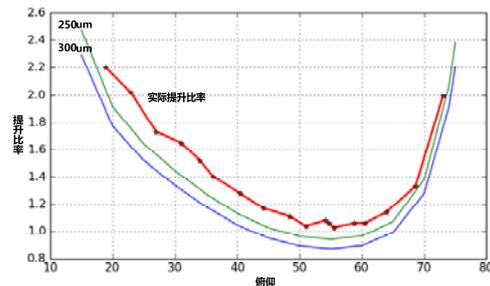


图 7 主动面开启和关闭的天线效率提升比值

【科学观测动态】天马望远镜 X/Ka 双频接收机 VLBI 测试结果

天马望远镜配备了 X/Ka 双频接收机。X/Ka 双频 VLBI 系统相对传统的 S/X 系统具有更高精度，将在大地和天体测量以及未来的深空探测器测定轨等领域发挥重要作用。2016 年 10 月 19 日 13:00—13:30 (UT)，天马望远镜与俄罗斯两个 13 米天线 (Bv, Zv) 进行 X/Ka 双频联合观测 (代码: RU0590 见图 8)。天马望远镜使用 X/Ka 双频低温接收机，数据采集终端为 DBBC2，数据记录速率为 1 Gbit/s (并采用 16 个带宽为 16 MHz 的通道，采样率为 2 bit)。俄罗斯台站原始观测数据通过网络传输到上海台 VLBI 中心。该中心 DiFX 处理机对数据进行相关处理并顺利获得干涉条纹。其中 X 和 Ka 两个波段所有记录通道 (X 波段 6 个通道 (图 9) 和 Ka 波段 10 个通道 (图 10)) 均获得条纹，并且幅度基本一致。这些测试表明天马望远镜 X/Ka 双频 VLBI 接收系统工作正常，可以进行正式的天文观测。

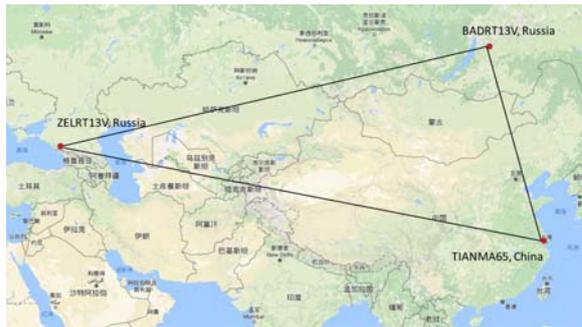


图 8 X/Ka 双频 VLBI 联合测试观测参与台站

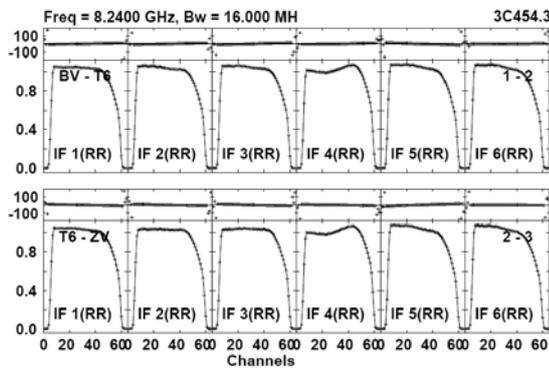


图 9 天马望远镜 T6 相关基线 X 波段条纹结果

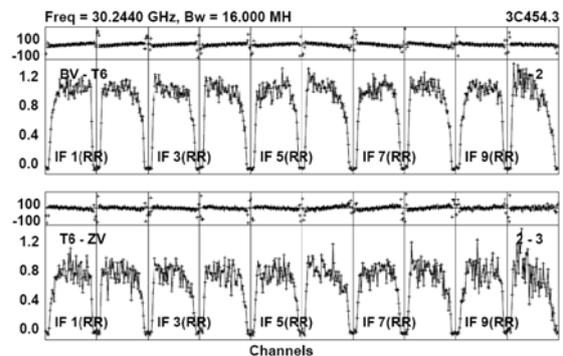


图 10 天马望远镜 T6 相关基线 Ka 波段条纹结果

【科学观测动态】天马望远镜观测研究甲醛脉泽辐射机制

相比于甲醇、水、羟基、一氧化硅等分子脉泽在银河系恒星形成区或主序后星拱星包层中的广泛分布，辐射频率在 4.8 GHz 甲醛分子脉泽辐射目前仅在银河系中 9 个大质量恒星形成区被探测到。由于甲醛脉泽源数目少，探测率低，因此搜索与研究它们的辐射特性成为射电分子天文研究中的一个重要课题。研究表明其低的探测率可能与苛刻的甲醛脉泽激发条件有关，而在恒星形成过程中，能满足它的激发条件的时标又十分短暂，这使得甲醛脉泽成为研究恒星形成过程某一特殊阶段的重要工具。但目前关于甲醛脉泽的激发机制仍不十分清楚，它可能由原恒星红外辐射所激发，也可能由激波碰撞所激发。

利用上海天马望远镜的 C 与 Ku 波段接收系统，上海天文台研究人员对已知的 6 颗 4.8 GHz 甲醛脉泽源开展了准同时的 4.8 GHz 和 14.5 GHz 甲醛分子跃迁线的观测。理论预言，不同的激发机制会使得甲醛在两条跃迁谱线上的辐射强度不同，并呈现出时延效应，因而结合这两条谱线的准同时观测可以对甲醛脉泽的辐射机制做出限定。天马望远镜在著名的大质量恒星形成区 NGC7538 中探测到了明显的 14.5 GHz 甲醛辐射 (图 11

左下)。通过比较 4.8 GHz 甲醛辐射强度 (图 11 左上), 可以排除红外辐射机制的可能性。进一步比较 NGC7538 中 4.8 GHz 甲醛脉泽多历元的光变特性, 发现该源中两个脉泽成分 (成分 I 和 II) 遵循相似的光变规律, 但成分 II 相比于成分 I 有约 14 年左右的延迟 (图 11 右)。这些结果确认了甲醛脉泽是通过原恒星高速 ($> 80 \text{ km/s}$) 外流与星周介质碰撞产生的激波作用所激发形成。此外, 观测结果进一步预言了 14.5 GHz 甲醛脉泽在 2004 年左右最早出现在速度成分 I 的位置, 14 年后 (即 2018 年左右) 将会在速度成分 II 出现, 天马望远镜对该源的长期监测可以进一步明确甲醛脉泽的辐射机制。该研究成果即将在 MNRAS 杂志上发表。

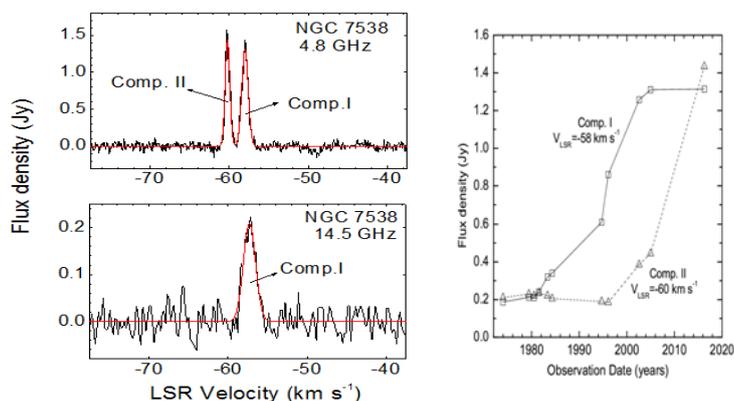


图 11 天马望远镜测得的 NGC7538 甲醛分子辐射及光变。

NGC7538 4.8 GHz 甲醛脉泽辐射 (左上) 及 14.5 GHz 甲醛辐射 (左下), 两个辐射成分用 Comp. I 及 Comp. II 标出, 红色线代表对辐射成分的高斯拟合。右: NGC7538 4.8 GHz 甲醛脉泽光变曲线, 天马望远镜数据对应为最后一个历元 (2016 年 4 月), 其余数据来源于早期发表的文献。可以看出, 两个脉泽辐射成分遵循相似的光变规律, 但成分 II 相比于成分 I 有约 14 年的延迟。

【技术维护和发展】佘山 25 米天线结构系统维修和表面处理

佘山 25 米天线结构系统建站已有 30 多年, 结构方面存在多处问题。另外, 受多雨、气候潮湿等因素影响, 天线结构系统出现了大面积锈蚀。上述问题对天线的电性能、安全性及外观造成不良影响。为了延长设备寿命, 充分发挥设备余热, 在 2015 年 11 月 26 日至 2016 年 2 月 23 日间, 中国电子科技集团公司第三十九研究所施工队进行了方位轨道和齿轮箱更换、波束波导密封维护及方位卷绕维修; 在 2016 年 10 月 31 日至 12 月 27 日间, 进行了一次彻底的天线结构系统焊接补强、除锈、涂漆等表面防护处理工作。在施工过程中, 中国科学院上海天文台 25 米望远镜项目组监理验收组对施工全程进行了配合和监督, 并进行了验收。项目组认为, 施工内容和质量达到了双方签署的《技术服务合同》及维修和表面处理方案的要求, 同意通过验收。目前, 天线运行正常, 性能指标满足要求。



图 12 局部结构处理前后对比



图 13 天线结构系统表面处理效果

【技术维护和发展】L 波段超导滤波器方案顺利通过评审

2016 年 10 月 24 日在中国科学院上海天文台徐家汇园区举行了天马望远镜 L 波段超导滤波器方案评审，中国电子科技集团第十六研究所研制人员汇报了该所在超导滤波器方面的成功案例和天马望远镜 L 波段超导滤波器的具体方案。结合天马望远镜所在园区电磁干扰情况，双方共同确定了 L 波段超导滤波器带通的起始频率和截止频率、边带抑制、插入损耗等技术指标。在天马望远镜 L 波段低温接收机中，超导滤波器将安装于低温放大器之前，工作在 15K 低温平台，以防止强干扰信号对低温放大器造成增益饱和。超导滤波器相对于普通滤波器的优势是对系统噪声温度几乎没有影响，在不影响接收系统灵敏度的情况下，可以将移动通信等强干扰信号进行精准过滤，并尽可能地保留有用的射电天文信号，为后期科学观测作出更大的贡献。

【新闻动态】上海天马望远镜开放服务平台顺利通过验收

2016 年 12 月 13 日，上海市科学技术委员会组织专家对中国科学院上海天文台承担的“上海天马望远镜开放服务平台”项目进行了验收。上海市科委基地处的张露璐主持了会议，来自上海卫星工程研究所、上海交通大学、中科院上海技物所、中科院上海微系统研究所和同济大学的专家组成的验收专家组成员听取了项目负责人洪晓瑜研究员就项目背景、项目建设情况、项目成果等作的详细汇报，进行了提问，并查阅相关技术报告。专家认为，天马望远镜开放服务平台已成为全国范围内具有科普教育和公益服务功能的大型公共服务平台，同意通过验收。

【新闻动态】天马望远镜观测申请再次正式发布

继 2015 年发布观测申请后，2016 年 12 月 29 日，上海天文台再次正式向国内研究人员征集天马望远镜观测申请。本次开放的观测时间覆盖 2017 年 4 月 1 日至 9 月 30 日，观测频段包括 L (1.25~1.75 GHz), S (2.2~2.4 GHz)/X (8.2~9.0 GHz), C (4~8 GHz),和 Ku (12.0~18.2 GHz) 波段，Ku 波段的系统噪声温度根据天气条件约为 40~80 K，其他频段的系统噪声温度约为 30 K。采用 DIABS 记录终端。

此次观测申请的截止时间为 2017 年 2 月 20 日 17:00（北京时间），具体信息见上海天文台网址：http://www.shao.ac.cn/xwzx/kydt/201612/t20161229_4729501.html。

【学术活动】“第十届相关处理机用户和开发研讨会”在上海召开

2016 年 10 月 30 日至 11 月 3 日，第十届相关处理机用户和开发研讨会（10th DiFX Users and Developers Meeting）在上海召开。该系列研讨会前九届分别由澳大利亚、美国、德国、韩国、意大利等国的天文相关处理机构轮流举办。此次会议是首次在中国举办的相关处理机研讨会，会议包括 2 天的用户会议和 3 天的开发研讨会议。来自美国甚长基线天文台（LBO）、美国海军天文台（USNO）、澳大利亚联邦科学与工业研究组织（CSIRO）、德国马普射电天文研究所（MPIfR）、韩国亚洲大学，意大利国家天体物理研究所（INAF）、荷兰的欧洲 VLBI 联合研究所（JIVE）、台湾天文与天体物理研究所、北京航天指挥控制中心、中国国家地理信息工程国家重点实验室、中国科学院国家授时中心和上海天文台等单位的 50 余相关处理机用户和开发人员参加了此次会议。与会专家都是来自国际上各相关处理机和相关处理中心的资深开发及应用研究人员，代表着目前国际上该领域的最高水准。会议讨论了相关处理机的使用，交换了性能提升方面的经验，完善和确定了新版本软件相关处理机的功能，并结合新的甚长基线天文观测数据相关处理需求，探讨了相关处理机下一阶段的开发内容。与会代表还参观了上海天文台 VLBI 数据处理中心和天马望远镜。

【学术活动】第九届东亚 VLBI 研讨会在贵阳举行

2016年11月7—11日，第九届东亚 VLBI 研讨会（The 9th East Asia VLBI Workshop）在贵阳举行。来自日本、韩国、澳大利亚和中国等多国的所研究机构共计 90 余人参加了会议。本次会议安排了 52 场口头报告，10 个张贴报告。会议还特别安排了 4 个科学工作组分会场。参会人员还赴贵州平塘调研了 FAST 望远镜。该系列研讨会自 2008 年 3 月以来每年举行一次，目的是及时了解和交流新设备的状态以及科学研究的结果，讨论 VLBI 相关领域的未来合作计划，推动东亚各方在 VLBI 领域的合作研究。天马望远镜团组的部分人员参加了会议，了解了东亚 VLBI 网的新进展，深入交流了射电技术方法和发展。

【观测运行动态】天马望远镜运行统计

2016 年天马望远镜总运行时间为 7167 h，其中单天线观测 3385 h，VLBI 观测 855 h，各项测试 2129 h，天线维修保养 733 h，观测准备时间为 65 h。

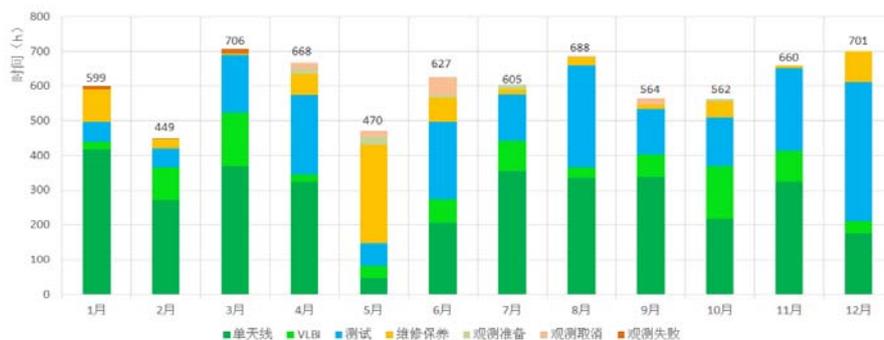


图 14 2016 年天马望远镜观测时间统计图

【短讯】2016 年 10 月 20 日，项目组人员接受了《解放日报》的采访，10 月 28 日《解放日报》上刊登了《“天马”行空，探寻未知苍穹破折号一天马望远镜建成 4 周年记》的报道。

衷心祝愿：

鸡年大吉！

万事如意！

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：赵玲丽 何雯婷 王彩虹

审核：刘庆会

签发：沈志强