

Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope
500 米口径球面射电望远镜



五百米口径球面射电望远镜（FAST） 观测性能概述

编写：_____

校对：_____

审核：_____

中国科学院国家天文台 FAST 工程

2018 年 月 日

摘要:

描述了 FAST 的观测性能、已调试的观测模式、接收机状态、终端模式等信息。可作为未来一年 FAST 有效进行调试和科学试观测时间分配的参考。文档将随 FAST 调试进展进一步更新。

一、FAST 介绍

500 米口径球面射电望远镜 (Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope, FAST) 工程是国家“十一五”重大科技基础设施建设项目。工程已于 2016 年 9 月 25 日落成, 逐步进行调试和早期科学观测。

经过两年多的调试, FAST 已基本达到预期性能, 逐渐接近国家验收的目标, 预计 2019 年 9 月进行国家验收。下表给出了 FAST 的基本信息, 第二节开始进一步说明。

FAST 基本信息 (验收阶段)

站点位置:	经度	106°51' 24.0"E
	纬度	25°39' 10.6"N
	海拔	1110.0288 m
主反射面:	口径	~500m
	半径	~300m
	有效照明口径	300m
	面型精度	~8mm (rms)
	球冠张角	110 度-120 度
焦距:		~139 m
焦比:		0.46 - 0.47
天空覆盖:		俯仰 40° -14.6° < Dec < 65.6°
工作频率:		70 MHz - 3 GHz
波长覆盖:		4.3 m - 10 cm
分辨率 (FWHM) :		2.9' (L band)
灵敏度 (L band)		A/T ~ 2000m ² /K 系统噪声温度 ~ 25 K
偏振		全偏振 (双圆或双线偏振)
指向精度:		16"
观测换源时间:		< 20 min

下图给出了 FAST 总控室的功能描述。正常观测时，一般由 5-7 人值班操作。



图 1.1 总控室布局

二、接收机

FAST 配备了 7 套分立的接收机，覆盖 70MHz - 3000MHz 的工作频率范围。其中，1 套为工作在 L 波段的 19 波束接收机，6 套为单波束接收机。具体参数见下表。

由于重量和体积限制，这些接收机分别配合 3 套下平台工作。FAST 工作时仅安装一套下平台，这些不能完全同时使用。依据不同接收机的复杂程度，更换接收机需 2-5 天。

所有接收机馈源均为线偏振，圆偏振信号需用数字终端处理得到。

FAST 望远镜配备的接收机

接收机	频率覆盖[MHz]	口径 [m]	FWHP [arcmin]	T_{sys} [K]	灵敏度 [K/Jy]	偏振 [l]	带宽 [MHz]
19 波束	1050 - 1450	300	2.9 [1.4 GHz]	< 25 K	16.0	$38 \times L$	400
B01	70 - 140	--	--	< 1000 K	--	$2 \times L$	70
B02	140 - 280	--	--	< 400 K	--	$2 \times L$	140

B03	270 - 1620	300	--	< 120 K	--	2 × L	1350
B04	560 - 1020	--	--	< 60 K	--	2 × L	460
B05	1100 - 1900	--	--	< 25K	--	2 × L	800
B07	2000 - 3000	--	--	< 25K	--	2 × L	1000

2.1 L 波段 19 波束接收机

L 波段 19 波束接收机由澳大利亚 CSIRO 建造,工作频率覆盖 1.05 - 1.45GHz。实测系统温度约 18K。

19 波束接收机是近期的主力接收机。除非有紧急观测需求,预计 2019 年将只使用 19 波束接收机观测。



图 2.1 L 波段 19 波束接收机

噪声注入分两档, 19 波束 38 路偏振使用同源信号功分得到。高档 10-12K, 随频率略有变化, 具体见下图。低档约 1.2K, 约为高档的 1/10。

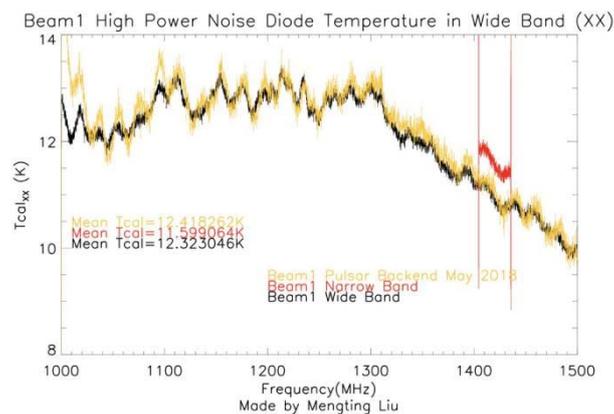


图 2.2 (中心波束) 注入噪声信号 T_{cal} (high) 的随频率 (Frequency) 的变化。不同颜色分别对应于脉冲星后端、窄带以及宽带情况下的结果。

2.2 超宽带接收机 (270-1620MHz)

超宽带接收机与 Caltech 合作建造,工作频率覆盖 270-1620MHz。实测系统温度约 50K。因带宽为 6 个倍频程, 各项指标在带宽内有一些变化。

19 波束接收机安装之前,超宽带接收机从 2016 年 7 月工作至 2018 年 5 月,

进行了多项观测，发现了 40 余个优质脉冲星候选体。
目前进行维护。



图 2.3 超宽带接收机

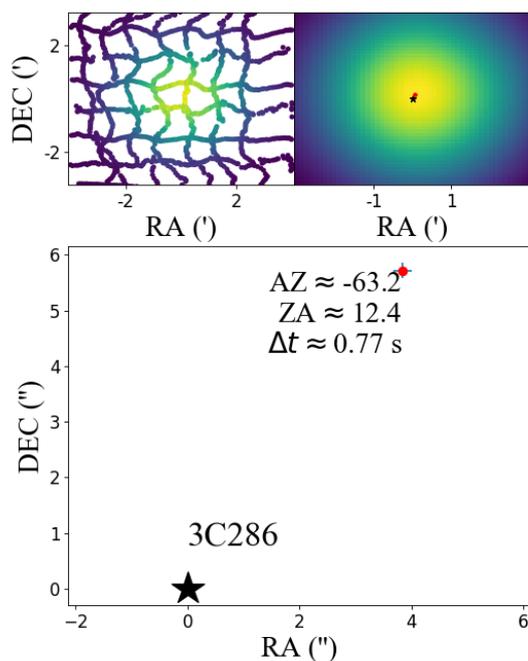
2.3 其它接收机

其它接收机没有实际安装调试。因 19 波束接收机拆装复杂，如无非常要的科学计划，19 波束接收机将运行 1-2 年，一直安装于下平台，不更换接收机。

70-140MHz 接收机可安装于 19 波束下方工作工作。拟建造悬挂装置测试其它接收机，目前还在设计讨论阶段。

三、指向精度

FAST 经过调试，指向精度已达到约 15 角秒。下图给出了扫描测试的样例。



指向精度随方位、俯仰变化在做进一步测试。根据 FAST 的工作原理，预期指向误差与方位角和俯仰角无明显相关。

四、系统温度

19 波束接收机指向天顶冷空实测系统温度约 18K。由于天顶角大于 26.5 度时，馈源照射到地面，系统温度增加。40 度天顶角时，实际系统温度接近 30K，不同频率有所不同。

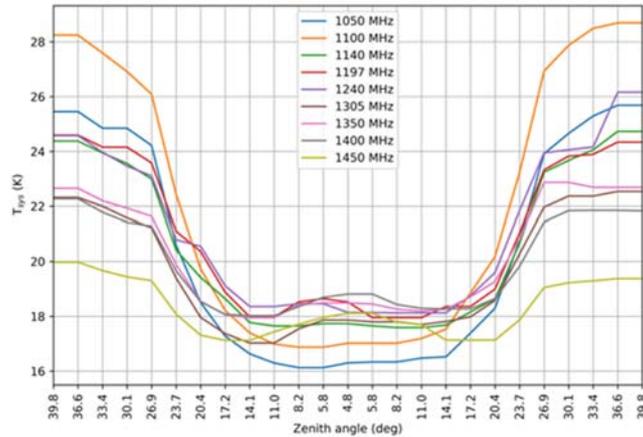


图 4.1（中心波束）系统温度 T_{sys} 随天顶角（Zenith angle）的变化，不同颜色对应于不同的频率。观测目标 3C286。

五、灵敏度

使用 19 波束接收机实测灵敏度，小天顶角时约 $2500\text{m}^2/\text{K}$ 。类似于天顶角对系统温度的影响，天顶角大时，灵敏度降低。选源时建议选择天顶角 30 度以内的源，观测效果最好。

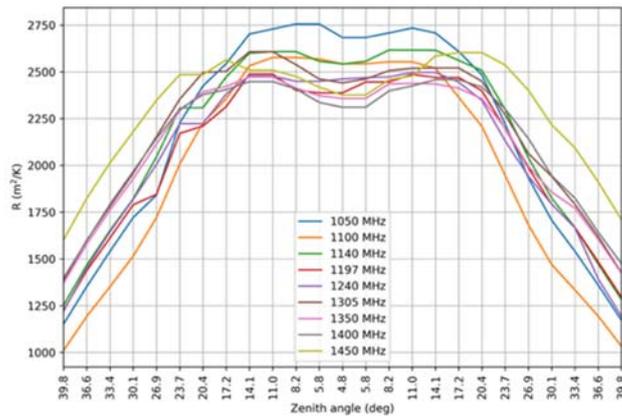


图 5.1 19 波束接收机（中心波束）测得的灵敏度。观测目标 3C286。

六、整体效率

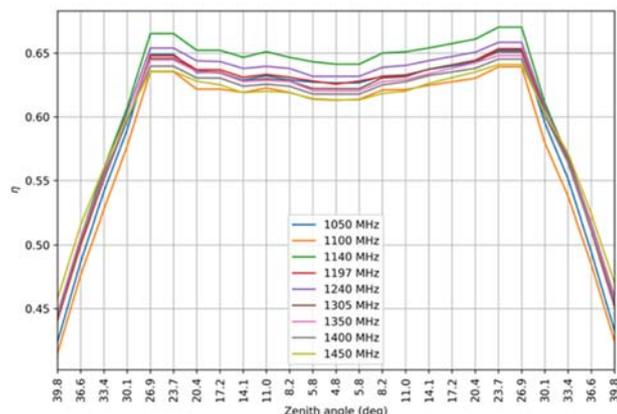


图 6.1 多次漂移扫描测量到的系统效率随频率及天顶角的变化。两侧下降是由于照明区域小于 300 米所致。

七、信号链路

FAST 采用光纤进行信号传输，对于 2GHz 以下的接收机，直接传输射频信号，无本振和中频，无法频率切换观测模式。

八、时间系统

采用 GPS 授时，配备有氢钟，有长期记录的 GPS 与氢钟的残差表，时间可追溯。脉冲星计时精度优于 50ns。时间系统的整体指标优于谱线观测需求。

九、终端

依据不同天文观测的需求，目前共配置有 5 类后端，包括：谱线观测后端、脉冲星观测及搜寻后端、VLBI 观测后端、SETI 观测后端以及数据处理和存储设备等。主要参数见下表。

已配备的后端

后端	带宽 (MHz)	采样时间 (μ s)	pol	stokes	IF	channels	文件格式
ROACH2 (谱线后端)	全宽带模式 500	1006632. 96 (\sim 1s)	2	Full 或选只记 2 路偏 振 (XX、YY)	1	1024k / 64k	fits
	窄带模式 31.125	1006632. 96 (\sim 1s)	2	Full 或选只记 2 路偏 振 (XX、YY)	1	64k	fits
ROACH2 (脉冲星后端)	500	49.152 / 196.608	2	Full 或选只记 2 路偏 振 (XX、YY)	1	4k	fits
CRANE (谱线后端)	31.25 \times 4 约 200MHz		2	Full	4	65536 (64k)	fits

	-1.7GHz 内						
CRANE (脉冲星后端)	2 GHz	64 us	2	Full		8192	fits
VLBI 后端	--	--	--	--	--	--	--
SETI 后端	--	--	--	--	--	--	--

数字终端模式多，调试复杂，目前仅最常用的记录模式进行了较多的测试。现状描述如下。

- 19 波束接收机使用 12 台 roach，10 台在线工作，2 台备份。第 1-9 台 roach 每个接收 2 个 beam 数据，第 10 台接收 1 个 beam 的数据，共 19。
- 谱线和脉冲星模式可同时工作记录数据。加入高频率校准信号同时工作的模式在测试。
- 谱线数据为 32bit，SDFITS 格式。脉冲星数据 8bit，PSRFITS 格式。
- 脉冲星搜索模式采样时间最低 8.192 微秒，实际观测一般取 49.152 微秒，主要是存储限制。
- ROACH2 的 500MHz 带宽是因 19 波束工作频率范围而设定。略宽于 1050-1450MHz 的标称带宽，以使采样覆盖边带。
- SETI 和 VLBI 终端仍在调试，还不能进行常规观测。
- CRANE 终端一般仅特殊模式使用。大部分观测建议使用 ROACH2 终端。

十、驻波

屏蔽改进后，驻波情况改善，目前驻波幅度约 0.2K，见下图。驻波频率周期约 1MHz，来自于馈源仓与反射面之间。对河外观测有较大的影响。目前正在进一步排查改善驻波情况。

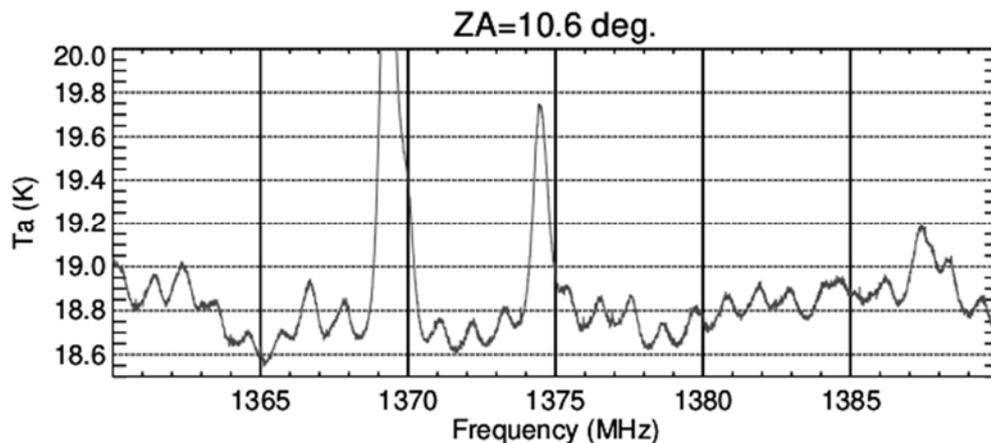


图 10.1 驻波情况示意图。

十一、观测模式

现有 4 种观测模式，具体介绍如下。

模式 1：漂移扫描

目前主要的观测模式，主要用于指向定标和脉冲星搜寻。积累数据最多，主要在夜间进行。

模式 3：跟踪

FAST 望远镜可进行跟踪观测时长可达 6 小时，大部分源可跟踪 4-6 小时，对于太靠南和靠北的源，可跟踪时间明显缩短，见下图。

因处于调试阶段，索网安全评估还没有完全完成，不建议做较多天顶角大于 30 度的跟踪观测。

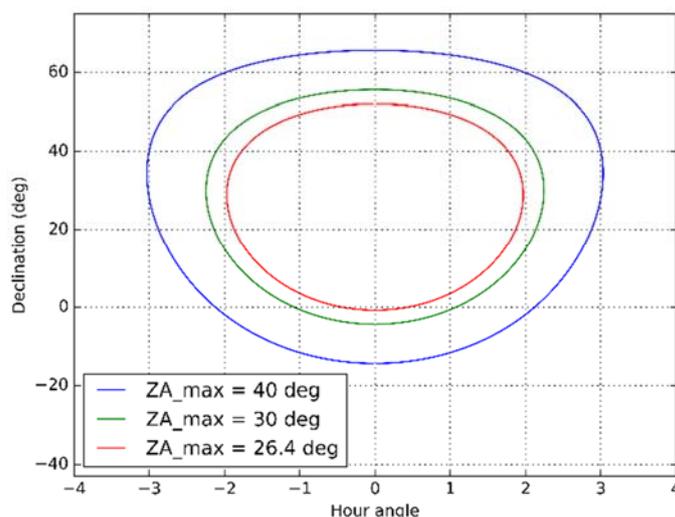


图 11.1 可跟踪时长示意图。

模式 4：编织扫描

调试少，目前不建议使用。

模式 5：运动中扫描

主要用于成图和指向测试。进行了较多调试观测，可以使用。

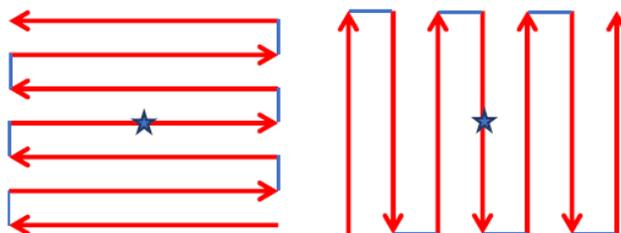


图 11.2 运动中扫描的轨迹示意图。

换源原为模式 2，已并入其它观测模式。换源可保证 20 分钟完成，较近的源换源更快。

因 FAST 不同于传统望远镜，位置切换观测效率不高，目前在讨论提高效率的方法。其它模式列如消除驻波的模式、行星和彗星观测也在讨论。

十二、RFI 情况

FAST 电磁环境较好，主要干扰源为：广电的电视信号、调频广播、航线、运营商（移动、电信、联通）的基站下行、卫星信号。调频广播和手机频段干扰较强，这两个波段的数据几乎无法使用，需去掉。其它干扰多为间歇性。

已有较多的监测数据，目前未统一接入系统。未来计划提供 RFI 的检索界面。

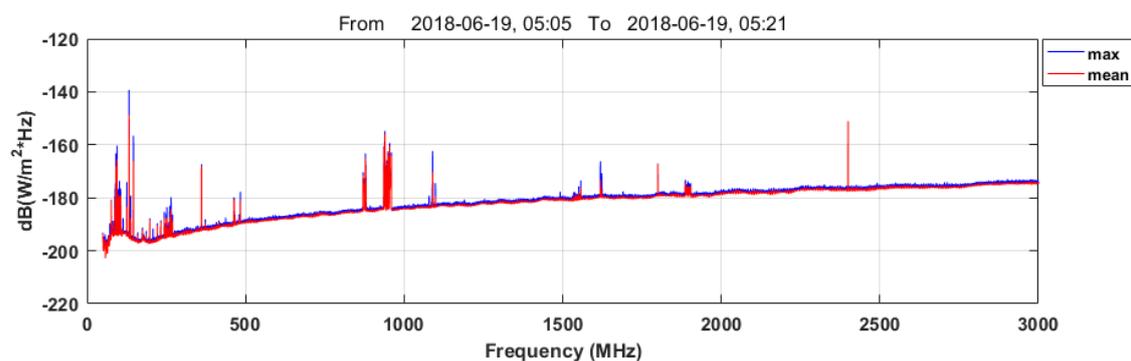


图 12.1 FAST 全波段电磁频谱监测图。