

FAST用户手册

作者：钱磊

前言

本手册内容汇总了FAST网站（fast.nao.cas.cn）相关内容。

感谢FAST运行和发展中心各位同事（孙纯、杨清亮、黄梦林、郝巧莉……）的支持。本手册的编写得到了中国科学院青年创新促进会资助（会员编号：2018075）。

钱磊

邮箱：lqian@nao.cas.cn

目录

前言	ii
1 FAST概况	1
2 常用观测模式	4
2.1 跟踪 (Tracking)	4
2.2 漂移扫描 (Drift)	4
2.3 运动中扫描 (OnTheFlyMapping)	4
2.4 源上源外 (OnOff)	5
2.5 快照 (SnapShot)	5
2.6 自定义 (Custom)	6
3 观测参数设置	7
3.1 数字终端参数	7
3.2 噪声管参数	8
4 数据获取	10
4.1 FAST数据的使用条件	10
4.2 数据存储位置	10
4.3 获取或取消FAST数据中心集群账户	11
4.4 获取数据权限	11
4.5 数据拷贝	11
5 数据使用	13
5.1 数据格式	13
5.2 数据使用	13
6 常见问题	15

图形列表

1	19波束的相对位置	1
2	19波束形态	2
3	$R \equiv A_{\text{eff}}/T_{\text{sys}}$ 随频率和天顶角的变化	3
4	用于定标的噪声源的噪声温度	3

表格列表

1	FAST的7套接收机	1
2	FAST的终端	3

第一章 FAST概况

FAST全称为500米口径球面射电望远镜（Five-hundred-meter Aperture Spherical Radio Telescope），建设在中华人民共和国贵州省黔南州的大窝凼洼地中。反射面球坐标为东经106°51′24.00″，北纬25°39′10.63″，海拔1110.03米。FAST目前有7套接收机，覆盖70 MHz到3 GHz频段。

表 1 FAST的7套接收机

序号	频率范围 (GHz)	系统温度 (K)
1	0.07-0.14	1000
2	0.14-0.28	400
3	0.27-1.62	35 (L波段)
4	0.56-1.12	60
5	1.15-1.72	20
6	1.05-1.45	20 (19波束)
7	2.00-3.00	25

FAST的L波段多波束接收机有19个波束（图3）。

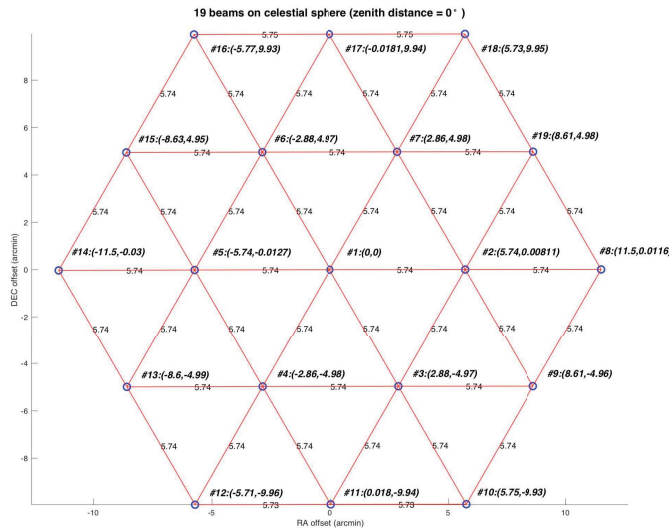


图 1 19波束的相对位置。

FAST的反射面是一个半径300米，口径500米的球冠面。FAST的反射

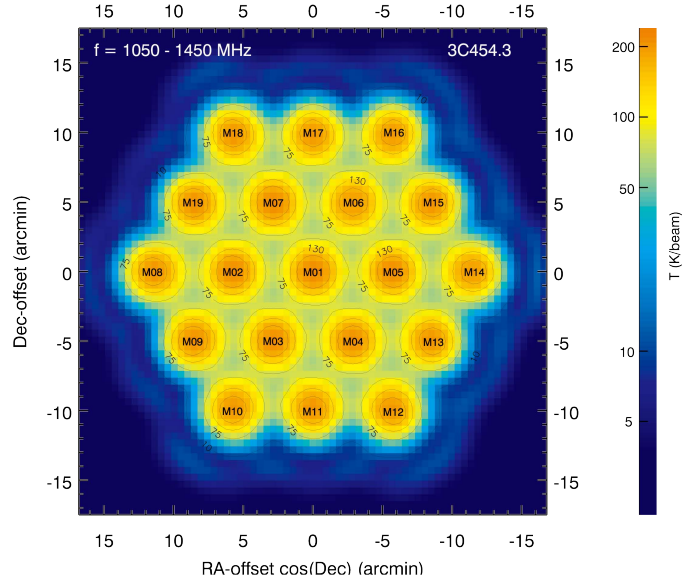


图 2 19波束形态。

面是主动反射面，观测的时候，300米口径的一部分反射面变形为抛物面，所以应该用300米作为FAST的口径计算波束等性能参数。FAST的波束大小为

$$\theta \equiv 1.22 \frac{\lambda}{D} = 2.94' \left(\frac{\lambda}{21 \text{ cm}} \right). \quad (1.1)$$

由简单几何关系可以知道，在小于26.44度的天顶角，反射面变形区域可以形成完整的抛物面。当天顶角超过26.44度，变形区域不是完整的抛物面，一方面，有效接收面积会减小，另一方面，系统温度会增大，所以望远镜灵敏度会下降。参数 $R \equiv A_{\text{eff}}/T_{\text{sys}}$ 反映了望远镜的灵敏度，这个参数随频率和天顶角变化。

目前，FAST有7套接收机，覆盖70 MHz-3 GHz频率。其中19波束L波段接收机频率从1.05 GHz到1.45 GHz。FAST有脉冲星、谱线、SETI 等几套记录数据的终端。脉冲星终端可以提供500 MHz带宽（响应最佳的带宽400 MHz），4 k频率通道，时间分辨率可以为50 μs 、100 μs 、200 μs 等。谱线终端可以提供400 MHz带宽，64 k通道或1 M通道，或31.25 MHz，64 k通道，时间分辨率可以为0.1 s、0.5 s 或1 s。SETI 终端可以提供5 Hz频率分辨率，10 s时间分辨率。

FAST观测除了使用天文源进行定标，还使用接收机系统中的噪声源进行定标。噪声源的噪声温度在10 K左右（图4）。

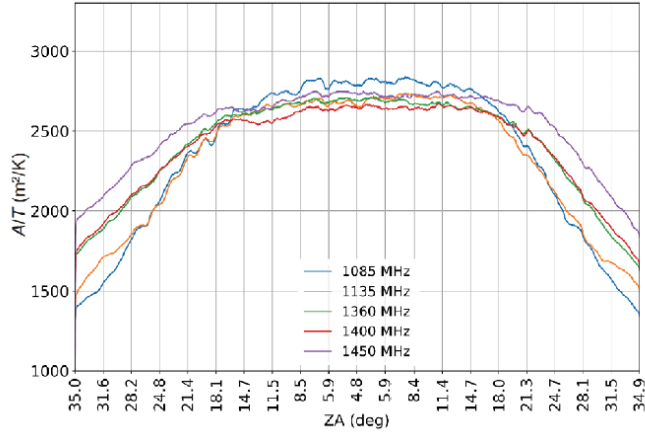


图 3 $R \equiv A_{\text{eff}}/T_{\text{sys}}$ 随频率和天顶角的变化。

表 2 FAST的终端

终端名称	参数说明	备注
psr	数据采样时间49.152 μs 、98.304 μs 196.608 μs , 默认通道数为4 k	可选通道数: 1 k、2 k、4 k、8 k
spec(F)	500 MHz带宽, 通道数为1024 k, 频率分辨率为476.837158203125 Hz	500 MHz全带宽数据记录, 以F 标记FITS文件
spec(W+N)	W: 全500 MHz带宽 N: 31.25 MHz带宽 通道数64 k 宽度频率分辨率: 7.62939453125 kHz 窄带频率分辨率: 476.837158203125 Hz	宽带和窄带同时记录, 窄带默认 中心频率为1420.0 MHz, 也可以自行设置。 会记录以W和N标记的两种FITS文件
SETI	采样时间10 s, 通道数65535 k 频率分辨率: 7.450580596923828 Hz	精确采样时间为10.200547328s 记录以F标记的FITS文件

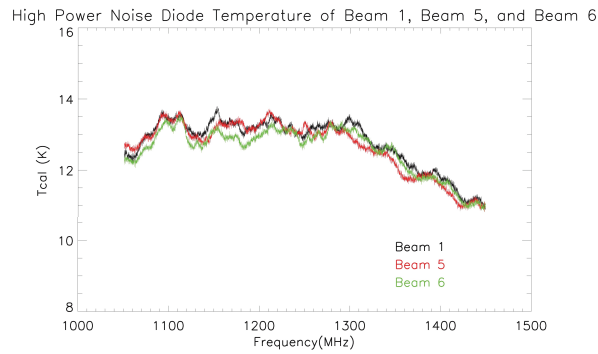


图 4 用于定标的噪声源的噪声温度。

第二章 常用观测模式

本章介绍常用观测模式。模式中文名后面括号中是模式在观测系统中的名称，为了方便程序处理，没有空格，每个单词第一个字母大写。

2.1 跟踪 (Tracking)

在此模式，望远镜跟踪特定坐标的源。望远镜补偿地球自转角度，并且多波束接收机会消除像场旋转。

使用此模式需要提供源的J2000历元赤经赤纬。

2.2 漂移扫描 (Drift)

在此模式，望远镜保持静止，指向特定方向，依靠地球自转完成扫描。注意，扫过的赤纬是当前历元的赤纬。

使用此模式需要提供需要扫过的源的J2000历元赤经赤纬。

2.3 运动中扫描 (OnTheFlyMapping)

在此观测模式，望远镜沿赤经固定或赤纬固定的方向来回扫描覆盖一块梯形的天区。

沿赤经固定方向扫描和沿赤纬固定方向扫描的观测时间可以计算如下。

$$\begin{aligned} \text{沿赤经扫描时间} &= \text{扫描时间} + \text{转向时间} \\ &= \text{单条时间} \times \text{扫描条数} + \text{单次转向时间} \times \text{转向次数} \\ &= \frac{\text{结束赤纬} - \text{开始赤纬}}{\text{扫描速度}} \times \text{int} \left(\frac{\text{结束赤经} - \text{开始赤经}}{\text{扫描间隔}} + 1 \right) \\ &\quad + \text{单次转向时间} \times \text{int} \left(\frac{\text{结束赤经} - \text{开始赤经}}{\text{扫描间隔}} \right) \end{aligned}$$

2.4 源上源外 (OnOff)

$$\begin{aligned} \text{沿赤纬扫描时间} &= \text{扫描时间} + \text{转向时间} \\ &= \text{单条时间} \times \text{扫描条数} + \text{单次转向时间} \times \text{转向次数} \\ &= \frac{\text{结束赤经} - \text{开始赤经}}{\text{扫描速度}} \times \text{int} \left(\frac{\text{结束赤纬} - \text{开始赤纬}}{\text{扫描间隔}} + 1 \right) \\ &\quad + \text{单次转向时间} \times \text{int} \left(\frac{\text{结束赤纬} - \text{开始赤纬}}{\text{扫描间隔}} \right) \end{aligned}$$

沿赤经固定方向扫描速度为5-30"/s，沿赤纬固定方向的扫描速度为5-15"/s。扫描间隔大于0角分，默认为1角分。

使用此模式需要提供扫描区域的赤经范围和赤纬范围。

2.4 源上源外 (OnOff)

原则上，可以通过分别跟踪源上 (ON) 点和源外 (OFF) 点，实现源上源外观测。但是，这样无法保证ON点和OFF点快速切换。这个模式就是为了实现间隔小于1度的ON点和OFF点之间的快速切换而对望远镜控制进行了特殊优化。

总观测时间与单次跟踪时间、切换时间及循环次数有关。

$$\begin{aligned} \text{总观测时间} &= (\text{单次跟踪时间} \times 2 + \text{切换时间} \times 2) \\ &\quad \times \text{循环次数} - m \end{aligned}$$

切换时间与ON点和OFF点间隔有关。间隔20角分以内，切换时间为30秒，间隔20角分到1度，切换时间为1分钟。

此模式需要给出ON点和OFF点的赤经赤纬。

2.5 快照 (SnapShot)

多波束接收机的相邻两个波束之间有一个波束的间隔，为了填满这些空隙，可以通过观测四个相邻位置实现无缝覆盖。这个模式设计为连续跟踪这四个相邻位置。相比四次单独的跟踪，缩短了位置切换的时间。这个模式主要用于银道面脉冲星搜索，所以四个位置在银道坐标计算。

此模式需要提供第一个位置的赤经赤纬。四次跟踪观测的位置（银道坐标）分别为

位置1: 用户提供的赤经赤纬转化为的银经 l_1 银纬 b_1 。

位置2: $l_2 = l_1 - \frac{d}{2}$; $b_2 = b_1$;

位置3: $l_3 = l_2 - \frac{d}{2} \cos \frac{\pi}{3}$; $b_3 = b_2 - \frac{d}{2} \sin \frac{\pi}{3}$;

位置4: $l_4 = l_3 + \frac{d}{2}$; $b_4 = b_3$;

其中 d 是相邻两个波束中心的距离，即两倍波束宽度。

2.6 自定义 (Custom)

人工编写任意焦点轨迹文件，导入控制系统观测。

用户需提供每100ms更新一次的、包含修正儒略日、方位角、俯仰角的txt文件。

第三章 观测参数设置

3.1 数字终端参数

数字终端的参数说明如下:

- a. 数字终端选项: psr/spec/SETI;
- b. 脉冲星终端选项: 1k/2k/4k/8k;
- c. 谱线终端选项: spec(F)/spec(W+N);
- d. 采样时间 (sampling time) 选项:

psr(1k): 49.152 μ s、98.304 μ s、196.608 μ s;

psr(2k): 49.152 μ s、98.304 μ s、196.608 μ s;

psr(4k): 49.152 μ s、98.304 μ s、196.608 μ s;

psr(8k): 98.304 μ s、196.608 μ s;

spec: 0.1 s、0.5 s、1 s,

注: 0.1 s、0.5 s、1s 精确时间分别为0.100663296 s、0.50331648 s、1.00663296

s。

e. rfgain: 数模转换的射频信号参数, 范围: -11.5 dB到 $+20$ dB, +代表放大, -代表衰减。该参数设置参考如下, L波段流量小于1 Jy,脉冲星观测、谱线观测、漂移巡天rfgain=15dB; 在1 Jy到10 Jy,rfgain=9 dB;在11 Jy到15 Jy,rfgain=8 dB;在16 Jy到30 Jy 一般用rfgain= 4 dB。

f. dgain: 脉冲星终端8 bit 数据信号调整参数, 仅调整脉冲星数据信号。

脉冲星1 k 终端: 3C 源, 采样时间49.152 μ s, 一般选dgain=200; 采样时间98.304 μ s, 一般选dgain=180; 采样时间196.608 μ s, 一般选dgain=150。脉冲星观测, 巡天观测, 采样时间49.152 μ s, 如果噪声管强度为high, 选dgain=200; 强度为low, 选dgain=230; 无噪声管, 选dgain=250。采样时间98.304 μ s, 如果噪声管强度为high, 选dgain=150; 噪声强度为low, 选dgain=160; 无噪声管, 选dgain=180。采样时间196.608 μ s, 如果噪声管强度为high, 选dgain=100; 强度为low, 选dgain=110; 无噪声管, 选dgain=120。

脉冲星2k终端：3C源，采样时间49.152 μs ，一般选dgain=200；采样时间98.304 μs ，一般选dgain=190；采样时间196.608 μs ，一般选dgain=180。脉冲星观测、巡天观测，采样时间49.152 μs ，如果噪声管强度为high，选dgain=350；强度为low，选dgain=360；无噪声管，dgain=380。采样时间98.304 μs ，如果噪声管强度为high，选dgain=230；强度为low，选dgain=250；无噪声管，选dgain=280。采样时间196.608 μs ，如果噪声管强度为high，选dgain=170；强度为low，选dgain=190；无噪声管，dgain=200。

脉冲星4k终端：3C源，采样时间49.152 μs ，一般选dgain=300；采样时间98.304 μs ，一般选dgain=250；采样时间196.608 μs ，一般选dgain=200。脉冲星观测、巡天观测，采样时间49.152 μs ，如果噪声管强度为high，选dgain=400；强度为low，选dgain=500；无噪声管dgain=600。采样时间98.304 μs ，如果噪声管强度为high，选dgain=350；强度为low，选dgain=400；无噪声管，选dgain=450。采样时间196.608 μs ，如果噪声管强度为high，选dgain=300；强度为low，选dgain=320；无噪声管dgain=350。

脉冲星8k终端：3C源，采样时间98.304 μs ，一般选dgain=400；采样时间196.608 μs ，一般选dgain=300。脉冲星观测，巡天观测，采样时间98.304 μs ，如果噪声管强度为high，选dgain=750；强度为low，选dgain=780；无噪声管dgain=800。采样时间196.608 μs ，如果噪声管强度为high，选dgain=600；强度为low，dgain=650；无噪声管dgain=700。

g. 偏振选项：脉冲星终端，默认为2路偏振，可选4路；谱线终端，默认为4路，不可选；SETI默认为4路，不可选。

3.2 噪声管参数

噪声管模式：

ON：一直打开噪声管

OFF：关闭噪声管

MODULATE：噪声管按照周期自动开关

噪声管强度：

high：10 k

low：1 k

周期设置参数：

delay：噪声管初始相位数值

ON：噪声管开的数值

OFF：噪声管关的数值

3.2 噪声管参数

OFF、ON、delay为无量纲的数，这三个参数对应的数值乘以4 ns，方可得到噪声管的OFF、ON、delay时间，噪声管注入的时间序列为

delay→ON→OFF→ON→OFF

第四章 数据获取

4.1 FAST数据的使用条件

凡使用FAST观测数据撰写的论文应有致谢，具体要求如下：

致谢：“本工作在FAST（500米口径球面射电望远镜）数据基础上完成。FAST是由中国科学院国家天文台运行和管理的国家大科学装置。”

Acknowledgement: “This work made use of the data from FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope). FAST is a Chinese national mega-science facility, operated by National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences.”

所有使用FAST数据的用户发表的论文，若未引用此致谢，再次申请FAST观测时可能受到影响。

此外，我们也建议引用描述FAST发展历程的几篇文章。

1) Nan, R. 2006, *Science China: Physics, Mechanics and Astronomy*, 49, 129. doi:10.1007/s11433-006-0129-9

2) Jiang, P., Yue, Y., Gan, H., et al. 2019, *Science China: Physics, Mechanics, and Astronomy*, 62, 959502. doi:10.1007/s11433-018-9376-1

3) Jiang, P., Tang, N.-Y., Hou, L.-G., et al. 2020, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 20, 064. doi:10.1088/1674-4527/20/5/64

4) Qian, L., Yao, R., Sun, J., et al. 2020, *The Innovation*, 1, 100053. doi:10.1016/j.xinn.2020.100053

4.2 数据存储位置

FAST望远镜观测数据存储于FAST数据中心存储和计算集群中。观测完成之后，数据会按照项目编号（PID）存储在集群/data31目录下。用户可以申请FAST数据中心集群账户，使用FAST数据中心集群资源访问和处理数据（收费使用，如何获取集群账户请参考第二条；特别提醒：从中国内地以外的网络访问FAST数据中心，网络连接质量可能较差），也可以联

4.3 获取或取消FAST数据中心集群账户

系FAST数据中心将自己项目的数据拷贝到其他地方处理。用户可根据自己的实际情况进行选择。

4.3 获取或取消FAST数据中心集群账户

FAST数据中心集群采用收费服务，用户在申请使用时，需在中科院仪器设备共享管理系统中预约FAST数据中心计算和存储集群资源，并与国家天文台所级中心签订委托协议并预付费用（请联系李楠老师(linan@nao.cas.cn)操作）。协议签订后，FAST数据中心会为委托人建立出资账户，并根据协议内容创建用户账户、分配存储和计算资源以及设置权限等。

若委托人需要增加协议中未包含的用户账户，需填写《FAST数据中心用户账户申请表》，审批通过后，由FAST数据中心工作人员创建新增用户账户、分配存储和计算资源以及设置用户权限。若委托人想要删除协议中包含的用户账户，需填写《FAST数据中心用户账户停止使用申请表》。审批通过后，由FAST数据中心删除该用户账户。

若委托人在使用过程中发现协议中约定的资源已不能满足需求，需要变更资源设置，需填写《FAST数据中心资源变更申请表》。审批通过后，由FAST数据中心重新配置存储和计算资源，并按照新的资源配置方式计费，本月申请，下月生效。

4.4 获取数据权限

对于已经注册数据中心集群账户的用户，FAST数据中心将所有的数据按照项目编号(PID) 存储,数据存放在/data31/PID 目录下。项目负责人(PI) 被自动赋予该项目数据的读取权限，若其他参与者需要协同处理该项目数据，需填写《FAST数据授权使用申请表》，经PI签字同意后，由数据中心赋予其读取数据权限。所有注册用户只有访问自己项目或是已授权项目数据的权限，没有访问其他项目数据的权限。FAST已经对外公开的数据存放在/data31/releaseData 目录下，所有进入集群的用户对已公开释放的数据具备读取权限，不需要再申请授权。

4.5 数据拷贝

如不需要使用FAST数据中心资源，需要把观测数据拷贝到其他地方处理，未公开释放的数据需填写《FAST数据对外传输申请表-非公开数

据》，项目负责人签字之后，扫描反馈给数据中心，通过审核之后，数据中心会通知您拷贝数据。已公开释放的数据需填写《FAST数据对外传输申请表-公开数据》，扫描反馈给数据中心，通过审核之后，数据中心会通知您拷贝数据。

如自带硬盘来FAST现场，请提前联系FAST现场办公室。落实食宿、车辆等问题。到达现场之后，请遵守FAST现场管理制度，禁止进入FAST望远镜现场和总控室等设置了“非工作人员禁止进入”的场所，具体情况请参考FAST现场生活指南。如通过邮寄硬盘的方式拷贝数据，请提前发邮件告知FAST数据中心，数据中心会反馈给您最新的邮寄地址和联系方式，如未告知就自行邮寄硬盘到FAST现场，FAST现场一律拒收。

第五章 数据使用

5.1 数据格式

本质上，脉冲星数据和频谱数据都是频谱的时间序列。不同的是，由于脉冲星采样时间短，所以不用频繁更新坐标和望远镜状态等元数据（meta data），所以脉冲星数据每若干（通常1024个）采样（频谱）对应一行，更新一次元数据。相比之下，频谱数据采样时间较长，每个采样（频谱）对应一行，更新一次元数据。

目前，脉冲星数据和谱线数据头文件中都只记录了部分元数据。其中脉冲星数据头文件中有数据记录开始的MJD（UTC日期，变量名为STT_IMJD）、数据记录开始的时间（UTC 00h之后的秒数，变量名为STT_SMJD）、数据记录开始时间的偏移量（变量名为STT_OFFS）。数据记录开始的精确MJD（UTC）为

$$MJD = STT_IMJD + \frac{STT_SMJD + STT_OFFS}{24 \times 3600}. \quad (5.1)$$

此外还记录了和数据本身有关的数据，包括数据的行数（NAXIS2）、偏振数（NPOL）、采样时间（TBIN）、通道数（NCHAN）、每行的频谱数（NSBLK）、存数据的数组的形状（TDIM17）。

频谱数据记录了数据的行数（NAXIS2）、通道数（TTYPER13，注意，这是一个数组，每一行给出了一个通道数）、第一个通道的中心频率（FREQ，注意，这是一个数组，每一行给出了一个中心频率）、存数据的数组的形状（TDIM21）。

5.2 数据使用

脉冲星数据和频谱数据都没有写入元数据（基本观测信息，如源的坐标等）。所以使用时需要根据馈源位置文件（存储位置：/data31/KY）修改数据文件中的元数据。

除此之外，频谱数据还需要做多普勒改正，把站心参考系观测的频率转换到太阳系质心参考系的频率。由于脉冲星处理软件里包含了这个功能，所以脉冲星数据无需修正。

脉冲星数据和频谱数据中的强度都是没有定标的读数，需要用噪声管注入或标准源标定真实的流量值。

第六章 常见问题

我有很多话想说，应该联系谁？

咨询数据相关问题，请联系FAST数据中心：fastdc@nao.cas.cn

咨询项目申请、评审相关问题，请联系：fast-proposal-support@nao.cas.cn

咨询观测时间安排相关问题，请联系FAST观测计划组：fastobs@nao.cas.cn

用户反馈意见或建议，请联系FAST用户委员会：fast-uc@bao.ac.cn

我如何进行观测，需要到FAST现场么？

观测申请获批，得到观测时间后。请尽快与观测人员取得联系(fastobs@nao.cas.cn)，并在FAST网站(fast.nao.cas.cn)提交观测计划。如果有特殊要求，请备注，并联系观测人员进行说明。

不需要到FAST现场进行观测。

我可以操作望远镜么？

不可以。

观测完成后如何获取数据？

参见前面章节《数据获取》。简单来说，由于网络限制，请使用硬盘拷贝数据。

我在论文里应该怎么致谢？

感谢你还能想到这一点。参见《数据获取》第一小节。

除了前面给出的观测模式，还有什么观测模式？

FAST有很多根据用户需求开发的小众观测模式，没有在本手册列出。如有需要，请参见<https://fast.bao.ac.cn/cms/article/80/>

我的观测失败了，可以补充观测或重新观测么？

我们的目标是尽可能多的科学产出。所以，由于外部原因导致数据质量差的情况，您可以向FAST运行和发展中心提出申请，只要理由得当，可以补充观测。

我可以请观测人员帮忙查看观测设置么？

可以的。但是观测人员只保证观测可以实现，不会危害望远镜安全。是否能实现您的科学目标，不做保证。

我可以更改观测模式或观测源的坐标么？

观测模式或坐标的变化属于源表变更，需要提交源表变更说明（包括项目号、变更原因、是否涉及科学目标变化），说明没有特定格式，打印后PI签字发扫描件）及新的源表给观测计划组fastobs@nao.cas.cn，观测计划组上报通过审核后由观测计划组更新网站里的源表。

我应该怎么分析数据？

我们可以告知您怎么读出数据，但怎么分析数据属于您的专业内容。

参考文献

fast.nao.cas.cn

Nan, R. 2006, *Science China: Physics, Mechanics and Astronomy*, 49, 129. doi:10.1007/s11433-006-0129-9

Jiang, P., Yue, Y., Gan, H., et al. 2019, *Science China: Physics, Mechanics, and Astronomy*, 62, 959502. doi:10.1007/s11433-018-9376-1

Jiang, P., Tang, N.-Y., Hou, L.-G., et al. 2020, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 20, 064. doi:10.1088/1674-4527/20/5/64

Qian, L., Yao, R., Sun, J., et al. 2020, *The Innovation*, 1, 100053. doi:10.1016/j.xinn.2020.100053
