

# 500 米口径球面射电望远镜 (FAST)

## 优先和重大项目任务书

项目名称：银道面脉冲星巡天

项目 PI：韩金林

项目周期：2020 年 2 月–2025 年 12 月

2020 年 1 月 6 日填

## 一、简 表

项目负责人信息	姓 名	韩金林	单 位	中国科学院 国家天文台
	职 称	研究员	电子邮件	hjl@bao.ac.cn
项目简介	<p><b>(限 400 字):</b></p> <p>脉冲星是大质量恒星死亡后的残骸，是宇宙中密度最高、磁场最强、相对论效应显著的天体，是验证引力理论的天然实验室。目前国际同行已经发现约 3200 多颗脉冲星（含未发表，但网页公布的），包括约 400 多颗毫秒脉冲星（MSP）。</p> <p>本项目计划利用 FAST 19 波束对可见银道面天区系统地进行 4*5 分钟的快照模式脉冲星遍历搜寻，即银道面脉冲星巡天 Galactic Plane Pulsar Snapshot survey (GPPS), 5 分钟的灵敏度为 0.01mJy。FAST 拥有极高的灵敏度，结合 19 波束接收机系统和快照模式，GPPS 可以在 5 年内完成国际上最高灵敏的银道面脉冲星搜寻巡天。项目完成时，预计发现约 1000 (<math>\pm 200</math>) 颗脉冲星。在实现“多出成果”目标的同时，希望发现特殊的珍品脉冲星，如 RRATs、射电磁星等，争取出好成果、大成果。</p> <p>本项目获得的银道面脉冲星深度巡天数据还可以用来做搜寻快速射电暴（FRB）等相关科学研究。</p>			

## 二、主要成员

序号	姓名	单位	职称	工作量（人月）	承担的主要任务
1	韩金林	国家天文台	研究员	6	整体协调和组织，各部分任务的输入输出结果的检查
2	王陈	国家天文台	副研究员	7	FAST 观测目标输入、已知脉冲星研究、候选体跟进
3	王鹏飞	国家天文台	副研究员	7	搜寻、候选体研究、timing，脉冲星辐射变化的研究
4	孙京海	国家天文台	高工	2	负责 FAST 观测控制
5	于东俊	国家天文台	高工	2	负责 FAST 设备测量
6	徐仁新	北京大学	教授	2	新发现脉冲星的科学研究
7	王洪光	广州大学	教授	4	新发现脉冲星的后续科学研究与观测等
8	游霄鹏	西南大学	教授	4	数据分析和候选体认证
9	Rai Yuen	新疆天文台	副研究员	4	理论分析
10	宿未琦	国家天文台	研究生	8	候选体认证和 timing
11	陈雪	国家天文台	博士生	8	FRB 搜寻和单脉冲搜寻
12	王涛	国家天文台	博士生	8	数据处理优化和候选体认证
13	周德江	国家天文台	博士生	8	数据处理和候选体认证、单脉冲搜寻和研究

14	颜一	国家天文台	研究生	8	数据处理和候选体证认、脉冲星位置确定
15	曾庆国	国家天文台	研究生	8	干扰识别和候选体智能识别
16	景威聪	国家天文台	研究生	8	干扰识别和候选体智能识别
17	姜金辰	北京大学	博士生	8	数据处理
18	门云鹏	北京大学	博士生	6	候选体辨认和 FRB 和单脉冲搜寻
19	胥恒	北京大学	博士生	6	候选体认证和已知脉冲星的研究
20	张春风	北京大学	博士生	6	候选体认证和已知脉冲星的研究
21	王铂君	北京大学	博士生	6	候选体认证和已知脉冲星的研究
22	徐江伟	北京大学	博士生	6	候选体认证和已知脉冲星的研究
23	解进涛	新疆天文台	博士生	4	数据处理和分析
24	黄文俊	广州大学	研究生	3	候选体的验证观测与数据处理
25	王双强	新疆天文台	博士生	4	数据处理和分析

### 三、任务书正文（简明扼要阐述）

#### （一）科学目标和项目内容

脉冲星是大质量恒星死亡后的残骸，是宇宙中密度最高、磁场最强、相对论效应显著的天体，是检验引力理论天然实验室。脉冲星搜寻观测发现更多的脉冲星，可以：1) 扩大脉冲星的样本，利于研究脉冲星统计特性；2) 更好的探测星际介质；3) 发现优质毫秒脉冲星可以用于探测引力波，且毫秒脉冲星测时还可用于建立脉冲星时间和空间基准；4) 发现脉冲双星可以用于高精度检验引力理论；5) 发现特殊的珍品脉冲星，如 RRATs、射电磁星等，可以更好的研究脉冲星辐射物理。

FAST 拥有极高的灵敏度，结合高效率的 19 波束接收机系统，已经成为目前国际上最灵敏的高效率脉冲星搜寻设备。简单估算可以得出：FAST 5 分钟观测达到的灵敏度，等效于 Parkes 的 1500 分钟，或 GBT 的 300 分钟，或 Arecibo 20 分钟观测。

本项目计划利用 FAST 19 波束对 FAST 可及的银道面天区进行系统的快照模式搜寻 -- 这将成为世界上最高灵敏度的银道面脉冲星系统搜寻，项目完成时预计发现 1000 颗脉冲星，实现“多出成果”的目标，同时争取出好成果、大成果。取决于观测时间安排，预计在开始 1 年内发现至少 200-300 颗脉冲星（内银河平均 2-3 小时应该发现一个脉冲星；外银河发现效率会低很多），

本项目获得的银道面脉冲星巡天数据还可以用来搜寻快速射电暴（FRB）。

本项目观测过程中可以同步记录的谱线数据，即时开放给大家用于银河系的星际介质相关研究。

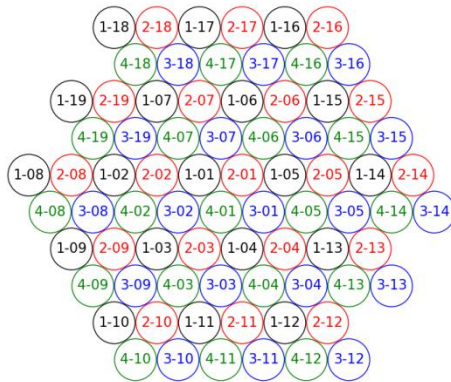


图 1 FAST 19 波束快照观测模式。一次 snapshot 由 4 次 5 分钟跟踪观测组成，完整覆盖一块 0.1575 平方度的天区，仅需要 21 分钟。波束内标记为“跟踪次序编号-波束编号”。

#### （二）观测计划及观测时间需求

FAST-GPPS 采用介于跟踪和扫描模式的新模式：快照（snapshot）模式，即利用 19 波束对内银河的 19 个点跟踪 5 分钟，然后将波束指向调整 3 角分（即正好是相邻波束间距的一半，耗时 20 秒），四次完成一个 cover，覆盖约 0.1575

平方度的天区（见图 1）。每次 snapshot 观测一个 cover 仅仅耗时 21 分钟，其中四次是 5 分钟的跟踪观测，4 次 pointing 指向调整共计才花 1 分钟。考虑 FAST 对不同源观测时正常切换指向需要 10 分钟调整，GPPS 采样 snapshot 模式是效率很高的观测。每平方度完整覆盖大约耗时仅仅 3.1 小时（包括换源时间）。我们计划对外银河  $150^\circ < GL < 200^\circ$  或高银纬  $|GB| > 5^\circ$  天区，GPPS 计划每次跟踪时间缩短至 3 分钟每平方度完整覆盖大约耗时 2.3 小时。其实在外银河，FAST 时间空余可能较多。这种情况下，也可以同样 5 分钟遍历，具体根据实际情况再定。

观测计划及时间需求：

- 观测天区：FAST 可视天区的  $|GB| < 5^\circ$  的银道面。优先观测内银道面约  $30^\circ < GL < 100^\circ$  范围，共计约 700 平方度；外银道面约  $150^\circ < GL < 210^\circ$ ，共计约 600 平方度。两者合计 1300 平方度。
- 观测时间：共计约 5000 小时，其中将 1300 平方度天区覆盖一遍需要 3600 小时，以及验证和多次测时观测新发现脉冲星的 1400 小时。总计划 5 年，平均每年 1000 小时左右。
- 根据发现脉冲星的数量，后随验证观测和 timing 可能需要额外的时间。

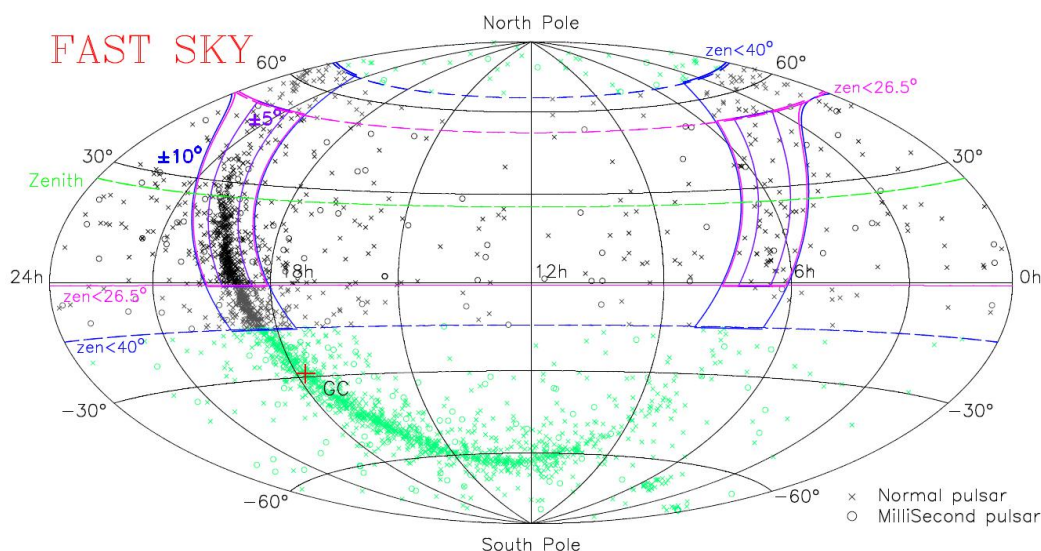


图 2 FAST-GPPS 需要观测的天区中心位置分布图。

- 可能必要的重复和银道面延展天区巡测（第 5-10 年的长期规划）：  
如果要搜寻更彻底，一遍巡天观测需要覆盖两次，可能需要另外的 3600 小时。

在 FAST 防噪墙建设之后，巡天观测范围逐步扩展到天顶角 26 到 40 度范围。

在完成  $|GB| < 5^\circ$  的银道面巡天之后，计划开展对内银河更高纬度  $5^\circ < |GB| < 10^\circ$  的银道面巡天，共计约 1400 平方度。选择 3 分钟积分时间，全覆盖一遍耗时约 3000 小时。这些观测应该在 5 年观测获取成果之后进行。

### （三） 观测团队、数据处理队伍及分工情况

项目牵头人：韩金林，整体协调和组织，各部分任务的输入输出结果的检查，协调成果发表等事宜。

研究团队主要由国家天文台、北京大学、新疆天文台和广州大学、西南大学的 15 名脉冲星专家和他们的学生组成。有至少 15 名博士生和研究生进行各种数

据挖掘。

各人承诺的具体任务，见上面的名单表格内容。看起来各方面的工作人手应该是足够了。

在 2019 年风险共担开放期间，国家天文台的团队已经进行各种观测实验，建立了脉冲星搜寻观测和处理的完整流程，包括去干扰、消色散、FFT、产生候选体、利用人工神经网络对候选体打分等。到目前为止，对内银河系观测了 20 多个小时，已发现的优质脉冲星候选体约 10 个。目前正在进行的工作是根据 FAST 数据和观测记录，进一步完善和优化自动化的脉冲星搜寻流程。

与国际通常的脉冲星巡天一样，新脉冲星一旦得到验证，将组织开展新发现脉冲星的后随观测和 timing，确定脉冲星轮廓和偏振、自转减慢特征或双星轨道参数等属性。

#### （四）各阶段性预期成果等

预计本项目将发现约 1000 ( $\pm 200$ ) 颗脉冲星，其中也许有些脉冲星珍品。

- 2020 年，对 FAST 可视天区的内银道面 ( $|GB| < 1^\circ$ ) 全覆盖巡测一遍（具体天区根据实际可观测时间协调），预计发现 200 颗脉冲星。
- 2021 年-2023 年，按计划观测银道面 ( $|GB| < 5^\circ$ ) 全覆盖巡测，预计再发现至少 800 颗脉冲星。
- 巡天的同时，对有特殊意义的脉冲星做后随 timing 观测，及时发表重要成果。
- 对巡天数据进行单脉冲和 FRB 搜寻，也许会发现有趣的脉冲星。

**请说明如 2020 年仅提供所申请的 20% 观测时间，预期取得的阶段性实施成果。**

希望得到 FAST 有效观测总时间至少 600 小时。

如果 FAST 运行状态良好，在计划开放的 2800 小时之外有任何多余时间，请尽量优先分配，因为今后 5 年内慢慢把银道面巡天完成，但早发现、早监测，早出成果，确实是最佳选择。因为发现一批脉冲星之后，可分批发表脉冲星发现的新结果。巡天过程中可能发现特殊脉冲星，可能需要额外时间做后随观测，以利发表个别新发现的结果。

特别要强调的是，除了极个别亮星之外，FAST 用 5 分钟 GPPS 巡天发现的暗弱脉冲星无法用世界上的其他望远镜进行 timing 观测。

#### 四、观测源表（格式）

FAST 可视天区的 $ GB  < 5^\circ$ 的银道面及探测到的脉冲星			