

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：快速射电暴的搜寻和多波段观测

项目 PI：朱炜玮

项目周期：2020 年 2 月- 2024 年 12 月

2020 年 1 月 6 日填

一、简 表

项目负责人信息	姓 名	朱炜玮	单 位	中国科学院 国家天文台
	职 称	研究员	电子邮件	zhuww@nao.cas.cn
项目简介	<p>(限 400 字):</p> <p>快速射电暴 (FRB) 是 2007 年发现的一种全新天文现象, 其起源尚未认证。该领域是目前国际射电天文界研究热点。本项目拟对 FRB 重复暴源或可能的重复暴源进行定点跟踪观测研究。利用 FAST 高灵敏度的优势, 我们将协调多波段观测设备进行以下四方面的观测研究: 1、对已经详细观测过的 FRB 重复暴源 (如第一例 FRB121102) 进行详尽的研究; 2、对新的 FRB 重复源 (如 CHIME 发现的新源) 进行定点监测, 搜寻新的重复爆发; 3、对一些尚未重复爆发的 FRB 做跟踪研究, 寻找重复爆发现象; 4、对一些有可能有 FRB 重复暴的源 (比如软重复暴 SGR 磁星, 一些附近星暴星系或椭圆星系等) 进行定点跟踪观测。在观测条件允许的情况下, 我们将利用其它波段望远镜同时观测 FRB。此项目将对理解 FRB 起源、爆发机制及辐射机制做出重要贡献。</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	朱炜玮	国家天文台	研究员	6	规划协调，科学目标，观测，数据处理
2	张冰	内华达大学	教授	4	规划协调，科学目标，理论
3	余文飞	上海天文台	研究员	4	科学目标，多波段观测
4	王发印	南京大学	教授	4	科学目标，观测，统计
5	牛晨辉	国家天文台	博士后	4	观测，数据处理
6	李健	新疆天文台	助理研究员	3	观测，数据处理
7	徐永华	云南天文台	副研究员	3	观测，数据处理
8	李志玄	云南天文台	助理研究员	3	观测，数据处理
9	罗近涛	国家授时中心	研究员	3	观测，数据处理
10	魏俊杰	紫金山天文台	副研究员	3	FRB 基本物理学和宇宙学
11	李晔	北京大学/紫金山天文台	博士后	2	数据处理，多波段统计分析
12	张彬彬	南京大学	副教授	2	观测，数据处理
13	高鹤	北京师范大学	教授	2	理论，宇宙学应用

14	李正祥	北京师范大学	副教授	2	宇宙学应用
15	林琳	北京师范大学	副教授	2	磁星协调观测
16	杨元培	云南大学	助理教授	2	理论
17	温志刚	新疆天文台	副研究员	2	观测，数据处理
18	Stefano Rapisarda	上海天文台	博士后	2	数据分析和多波段观测
20	韩金林	国家天文台	研究员	1	科学目标，观测，数据处理
21	吴雪峰	紫金山天文台	研究员	1	理论，基础物理学限制
22	张双南	高能物理研究所	研究员	1	HXMT 协同观测
23	魏建彦	国家天文台	研究员	1	光学协同观测
24	王祥高	广西大学	教授	1	光学协同观测
25	梁恩维	广西大学	教授	1	光学协同观测
26	戴子高	南京大学	教授	1	理论
27	鲁文宾	加州理工大学	博士后	1	理论
28	罗睿	澳大利亚国立天文台	博士后	1	观测，数据处理

三、任务书正文（简明扼要阐述）

（一）科学目标和项目内容

此项目拟对快速射电暴（FRB）重复暴源或可能的重复暴源进行定点跟踪观测研究。FRB 是在射电波段短暂爆发，观测表明它们来自宇宙学距离，但其产生机制仍然是不解之谜。因此，FRB 研究是当今天体物理最热门的领域之一。FRB 发现于 2007 年，但这种现象真正引起科学家广泛关注是 2013 年后。该领域的发展可谓日新月异，平均每半年召开一次 FRB 国际会议，每次在会上都有突破性的观测进展的报道。该领域的理论工作也一直有长足发展。目前已有 50 多种起源模型发表，但越来越多的观测数据对模型提出观测限制，能够存活的模型数正在快速减小之中。

一个广泛关注的问题是是否所有 FRB 源都有重复爆发。目前已有 20 多个 FRB 源观测到有重复爆发，而尚未重复的 FRB 源已有几百例被观测到（100 多例已发表）。虽然重复源的有些爆发表现出一些特殊的观测性质（比如说较长宽度，时变结构，频率下漂移等），但是有一些暴并没有比非重复暴具有更多的特性。这就使得有些学者认为所有的 FRB 都是重复暴源，只不过有些源重复频度低或重复暴的光度低，因此目前尚未被发现。确实，重复暴大多是被更加灵敏的射电望远镜（比如 Arecibo 的 300m 望远镜）观测到的。FAST 以它更高灵敏度对研究重复暴具有得天独厚的优势，目前已成功观测到两个 FRB 源的重复爆发。对已知重复暴源的详细研究可以了解它们的暴发和辐射统计性质，从而对 FRB 分类研究做出贡献。

第二个重要问题是 FRB 的天体物理起源。国际上比较流行的模型将 FRB 源和磁星（磁场强度高于 4×10^{13} 高斯的强磁场中子星）及产生磁星的源（比如说伽马暴和超亮超新星）联系在一起。要验证这些模型可以有针对性地对一些有可能产生 FRB 的源进行定点跟踪观测来寻找 FRB 信号。目前国际上已有一些合作团队（包括本项目牵头人领导的团队）对一些可能产生磁星的伽马暴源和超亮超新星源进行定点跟踪观测，但到目前为止尚未在这些源中找到任何 FRB。

第三个重要问题是 FRB 的辐射机制。FRB 极高的亮温度要求辐射必须相干。目前理论界有两种观点：1.FRB 辐射像射电脉冲星一样产生于中子星磁层内，相干机制应该是成束相干曲率辐射机制。这种模型预言 FRB 的辐射观测特性（比如说偏振度大小和偏振方位角演化）应和射电脉冲星很相似。2.FRB 辐射起源于类似于伽马暴的相对论激波处，辐射机制是同步脉泽。因为辐射区在磁层之外，其辐射特性应该和射电脉冲星非常不同。目前观测尚无法区分这两种机制。对 FRB 重复源的详细研究可以对 FRB 辐射机制做出重要限制。

（二）观测计划及观测时间需求

FAST 作为世界上最大的单天线望远镜，有较小的视场和非常高的灵敏度。虽然它在 FRB 盲寻方面很难和世界上已有的大视场天线阵（如 CHIME）竞争，但是它在定点跟踪 FRB 重复暴源方面有得天独厚的优势。我们打算使用以下四种观测方法进行 FRB 重复暴源的研究：1.对已知的 FRB 重复源进行跟踪研究，通过对重复暴进行详细数据分析和统计研究，可以深入了解 FRB 爆发的光度函数，偏振性质以及色散量（DM）和法拉第旋转量（RM）的统计性质及演化，从而解决 FRB 辐射机制及物理起源的疑难。2.对一些目前尚未重复的 FRB 源进行长期监测以探测其可能的重复暴。通过现有重复暴的统计性质可以对哪些 FRB 可能重复做出预言。目前这种方法已被 FAST 观测证明可行（见已有工作基础）。3.对一些目前还没有探测到 FRB 但根据理论很可能产生 FRB 的源（比如说软伽马重复暴 SGR 等）进行定点跟踪观测。这些观测非常重要，如取得成功将直接解决 FRB 疑难，如不成功也可以对一些流行的模型做出非常强的限制。4.FRB 是否有别的波段的对应体是一个非常重要的问题，其探测或观测流量上限对理解 FRB 起源有非常重要作用。我们计划利用多波段设备资源，在观测 FRB 同时进行多波段监测。

因为以上四种观测方法都有可能产生有突破性的观测结果，希望申请到足够的有保障的观测时间来完成全部四项观测。预计平均每月需要 40 小时（每种方法 10 小时）来完成观测任务。每年观测时间约为 480 小时。如果没有足够时间分配，希望能够保证每年 400 小时的观测时间。

（三）观测团队、数据处理队伍及分工情况

研究团队包括以下子团队及分工：

1. 科学团队：包括张冰、朱炜玮、余文飞、王发印、韩金林，负责观测目标的确定和观测时间的分配；
2. FAST 观测和数据处理团队：包括国家天文台和合作团队（朱炜玮、韩金林、牛晨辉、罗睿等），负责对观测目标做最精准的观测和数据处理。
3. 多波段观测团队，包括上海天文台（余文飞等）、高能所（HXMT，张双南等）、北师大（林琳，HXMT，磁星）、国台（GWAC，魏建彦等）、广西大学（梁恩维、王祥高等），南京大学（张彬彬等），紫金山天文台（大视场光学望远镜阵列，吴雪峰等）在对 FRB 源进行 FAST 观测同时用其它波段同时跟踪观测；
4. 其它射电观测团队，包括新疆天文台（温志刚、李健），云南天文台（徐永华、李志玄），国家授时中心（罗近涛），独立处理 FAST 数据并利用其它射电望远镜进行辅助观测；
5. 数据统计团队：包括南大（王发印、张彬彬），紫台（李晔）等，对已收集的 FAST 及其它望远镜观测到的 FRB 数据及其周边环境的数据进行汇总统计，对 FAST 观测科学目标的确定提供科学依据；
6. 理论团队：包括张冰、王发印、高鹤、李正祥、杨元培、吴雪峰、戴子高、鲁文斌、魏俊杰等，对 FAST 观测结果做理论解释并讨论其在基础物理学及宇宙学的重要意义，为发表高水平科学论文做出贡献。

（四）各阶段性预期成果等

因为 FRB 研究领域方兴未艾，所以新的观测很可能取得突破性的成果，对本领域的发展做出重要贡献。然而，因为这一全新领域在全球范围有非常多的投入，科研竞争也异常激烈，所以很难定量估计具体突破性成果的数量。另一方面，因为 FAST 对 FRB 重复暴源研究有着得天独厚的优势（灵敏度远高于其它望远镜），可以预期我们的观测计划将会有一系列重要成果。目前可以预期的阶段性科学产出包括：

1. 对已经详细观测过的 FRB 重复暴源（如第一例 FRB121102）进行详尽的研究，用大样本得到光度函数，并对脉冲结构及偏振性质做出详尽的统计研究。
2. 对新的 FRB 重复源（如 CHIME 发现的新源）进行定点监测，搜寻新的重复爆发，对其光度函数及偏振特性做出重要限制，回答“FRB121102 是否特殊”这个重要科学问题。
3. 对一些尚未重复爆发的 FRB 做跟踪研究，寻找重复爆发现象。这种方法已在 FAST 获得成功，第一批成果很有希望在国际一流期刊发表。后续观测将发现更多新的重复暴源；
4. 对一些可能存在 FRB 重复暴的源（比如产生软伽马重复暴 SGR 的磁星，一些近邻星暴星系或椭圆星系等）进行定点跟踪观测。如果有 FRB 被观测到将是重要突破；如果 FAST 对这些源的深度观测依然探测不到 FRB，这些结果也会对相关模型做出严格限制，甚至排除一些模型。

我们团队已利用 FAST 在 FRB 搜寻方面做出相关工作，已取得的观测成果如下：

1. 对第一个 FRB 重复源 FRB121102 监测研究：自 2019 年 8 月 31 日开始对 FRB121102 进行了定点跟踪观测，探测到数百次爆发。数据处理基本完毕。对爆发的统计研究得到之前没有发现的统计特性。该观测结果将作为重要成果向一流刊物投稿；
2. 发现新的 FRB 重复爆发源；利用已有光度函数预言某个之前没有重复的 FRB 源（FRB180301）为重复暴，利用 FAST 对该源进行观测并发现了新的爆发，验证了预言。新的数据对理解 FRB 重复源的爆发机制做出了重要贡献。该观测结果已投 Nature，正在审稿中。

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

由于有许多未知，FRB 目前属于前沿探索领域，有很大不可预测性。不像其它巡天项目，很难预测只用 20%时间能否达到 20%的观测成果。这个领域国际竞争非常激烈，一个新的现象如果被其它望远镜先观测到，其重要性立刻降低许多。中国观测 FRB 起步已晚，需要利用 FAST 的优势迎头赶上。在短短的时间里我们已经观测到 FRB 且取得重要结果，希望能尽量保证申请的观测时间，在 2020 年取得进一步的突破。

四、观测源表（格式）

Source	RA	Dec
FRB 121102		
FRB 180301		

注：由于 FRB 领域观测不确定性非常大，而且随着领域的动态发展观测源可能会有随时调整和改动，所以在以上源表中只列了已经观测到 FRB 的两个源。目前可以确认我们将会来继续监测这两个源。我们大多数的观测时间将用来对一些可能为 FRB 重复暴源的目标进行搜寻。