
中国天眼FAST的进展与奇特脉冲星研究 MDPI Universe

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/39286.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

中国天眼FAST的进展与奇特脉冲星研究 MDPI Universe。论文标题：Five-Hundred-Meter Aperture Spherical Radio Telescope (FAST): A Powerful Explorer of Exotic Pulsars

论文链接：<https://www.mdpi.com/2218-1997/11/11/378>

期刊名：Universe

期刊主页：<https://www.mdpi.com/journal/universe>

论文摘要

位于中国贵州的五百米口径球面射电望远镜（FAST）是全球灵敏度最高的射电望远镜，在脉冲星观测领域尤为突出。自2016年试运行、2020年全面运行以来，FAST已发现超过1100颗新的脉冲星，使全球已知各类脉冲星总数突破4000颗。本综述简要概述了FAST如何凭借其超高精度与灵敏度的独特优势，助力未来特殊类型脉冲星及奇异天体的发现——重点目标包括双毫秒脉冲星双星、脉冲星/毫秒脉冲星-黑洞双星系统、亚毫秒脉冲星、超长周期脉冲星、白矮星脉冲星以及轨道周期小于1小时的超短轨道的双中子星系统，为高精度检验广义相对论提供珍惜样本。展望未来，FAST与平方公里阵列（SKA）及其他尖端天文设备的协同观测，将使脉冲星样本数量突破1万颗，这将开启脉冲星研究的黄金时代。这些突破不仅将显著拓展并深化人类对脉冲星家园的认知，还将推动多信使天文学领域的重大进展。除脉冲星研究外，FAST还将在验证广义相对论、探测纳赫兹引力波、研究快速射电暴（FRBs）以及探究脉冲星辐射微观结构机制等方面发挥关键作用。这些研究不仅将强化人类对基础物理的理解，还将助力解锁宇宙深处的深层奥秘。

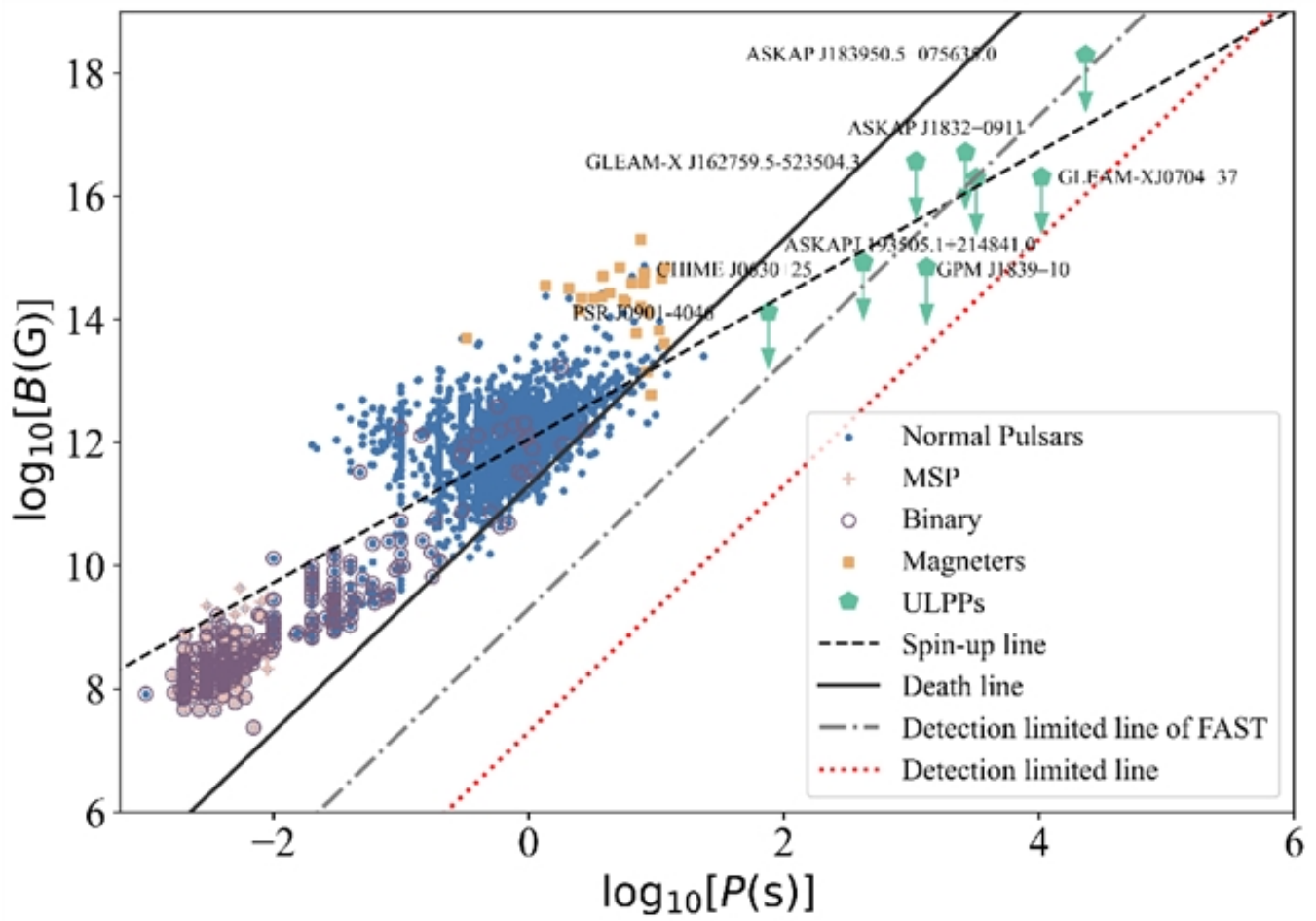
一、FAST望远镜与技术创新

五百米口径球面射电望远镜（简称FAST）作为全球灵敏度最高的单口径射电望远镜，自2016年初步试验运行、2020年全面投入正式观测以来，已在脉冲星探测领域取得重要成就。截至2025年底，FAST已发现超过1100颗新脉冲星，占全球已知脉冲星总数的四分之一以上，将人类已发现的脉冲星样本提升至4000余颗。FAST的核心优势源于其三方面技术创新：首先，其有效接收面积达美国的305米阿雷西博望远镜的两倍，灵敏度高出2-3倍以上，可探测低至10微央斯基的微弱信号；其次，40度天顶角覆盖范围使其可观测的天区加大，优于阿雷西博的局限范围；最后，19波束接收机支持同步观测多个目标，大幅提升巡天效率。

FAST的结构设计包含革命性突破：利用我国云贵喀斯特地貌作为天然基座，采用4450块可动面板组成的主动反射面，通过六个铁塔悬缆吊拉馈源舱，形成瞬时接收抛物面聚焦电磁波。这种设计消除传统支撑平台遮挡，增加有效观测面积，结合光机电一体化技术，实现高精度指向与跟踪。其理论观测频段覆盖约100 MHz至3 GHz。FAST的卓越性能使其在阿雷西博望远镜2020年坍塌后，成为全球脉冲星研究的核心设备，预计未来可发现总计5000颗新脉冲星。

二、脉冲星多样性与FAST的奇特目标探测

脉冲星作为转动中子星的辐射表现形式，其分类依赖参数之一是自转周期与磁场强度分布。FAST的高灵敏度使其在发现奇特脉冲星方面具有独特优势，这类天体对理解极端物理过程至关重要。通过脉冲星周期-磁场分布图（P-B图）可清晰区分不同类型脉冲星的物理特性。



脉冲星的周期-磁场分布图（P-B图）。

1. 磁星与高能脉冲星

磁星是磁场强度超 10^{14} 高斯的年轻中子星，以软伽马射线辐射为主，目前已知约30颗，其中半数与超新星遗迹成协。其辐射机制涉及磁层重组与局域超强磁场重联，FAST对磁星射电脉冲的监测有望揭示快速射电暴（FRB）的起源。2020年，银河系磁星SGR 1935+2154产生FRB的观测，首次将FRB与具体天体联系，FAST对高频次重复FRB的精细结构探测（如FRB 20121102A的1652次爆发记录）为辐射模型提供约束。

2. 毫秒脉冲星与双星系统

毫秒脉冲星（MSP）是通过双星物质吸积加速至毫秒级周期，目前FAST已发现180余颗MSP。其中蜘蛛脉冲星（包括红背与黑寡妇类型）具有低质量伴星，其周期性掩食与伴星蒸发过程是研究双星演化的关键。FAST对掩食 eclipsing MSP的高精度偏振观测揭示了磁层中等离子体特性。更奇特的是双毫秒脉冲星系统，其形成需在球状星团的高密度环境中通过动力学捕获实现。FAST在球状星团（如47 Tuc）发现12颗新MSP，证实星团作为毫秒脉冲星工厂的潜力。

3. 亚毫秒脉冲星与夸克星假说

亚毫秒脉冲星（周期 $< 1\text{ ms}$ ）是理论预言但未观测到的极端天体，其存在与否对中子星物态方程提出挑战。当前最快脉冲星PSR J1748-2446ad周期为1.396 ms，而理论转速上限受离心力平衡限制（约1840 Hz）。若发现亚毫秒脉冲星，可能支持夸克星或混合星模型，因其核物质可承受更强离心力。FAST对高吸积率X射线双星的监测，有望捕获角动量转移效率接近开普勒轨道频率（观测最高吸积中子星准周期震荡频率1329 Hz）的候选体。

4. 超长周期脉冲星与新辐射机制

近年来发现的超长周期脉冲星（如ASKAP J1935+2148周期53.8分钟）挑战传统辐射模型。其辐射能量可能不是源于转动能，而是磁重联等过程。FAST对这类天体的长期监测将辨析其辐射机制是否依赖局域超强磁场重联。这为新型脉冲星家族提供稀有的参考样本。

三、FAST在引力物理与多信使天文学中的角色

1. 脉冲星-黑洞系统与引力检验

脉冲星-黑洞（PSR-BH）系统被视为检验强场引力理论的宇宙实验室。尽管其形成率仅百万年量级一次，但FAST通过未来扩大样本量（至8000-10000颗脉冲星）有望发现此类系统。PSR-BH可精确测量黑洞质量与自旋（当前X射线双星黑洞质量误差较大），并观测引力波辐射导致的轨道收缩、自旋进动等广义相对论效应。FAST对球状星团的高灵敏度探测，可能发现动力学捕获形成的MSP-BH系统，其长寿命（约十亿年）提升探测概率。

2. 双中子星系统与引力波天文学

双中子星（DNS）是引力波研究的经典平台，如Hulse-Taylor脉冲星（PSR B1913+16）验证了引力波辐射。FAST目标发现轨道周期低于1小时的超短轨道DNS系统，其合并时间仅数百万年，是研究并和前状态的理想样本。此类系统在强引力场下的轨道进动与自旋耦合可为引力理论提供更严格约束。

3. 快速射电暴与磁星关联

FAST对FRB的精细观测揭示其可能源于磁星活动。例如，FRB 20121102A的宿主星系定位与偏振分析支持磁星-超新星遗迹相互作用模型。FAST结合多波段与多能段的观测，有望辨析FRB的辐射机制。

四、未来展望：迈向“万颗脉冲星时代”

FAST与下一代平方公里阵列（SKA）的协同观测，预计在2040年代将脉冲星样本提升至8000-10000颗，开启脉冲星研究的“黄金时代”。重点方向包括：

1. 奇特天体普查：发现脉冲星-黑洞系统、亚毫秒脉冲星等稀有目标；
2. 引力波探测：通过脉冲星计时阵列探测纳赫兹引力波；
3. 多信使联合：结合詹姆斯·韦伯望远镜等设备，实现射电-X射线-伽马射线联合观测；
4. 辐射机制破解：通过微结构分析揭示脉冲星磁层辐射过程。

FAST的高灵敏度不仅扩展脉冲星样本，更将推动致密物质物态、强引力场物理与宇宙演化模型的革新。随着观测数据的积累，脉冲星研究将从单一天体普查迈向多信使、多物理过程的系统探索，为人类理解极端宇宙提供全新窗口。

Universe期刊简介：

主编：Prof. Dr. Lorenzo Iorio, Ministero dell' Istruzione e del Merito, Italy

Universe (ISSN 2218-1997) 是一个国际化、经同行评审的开放获取期刊，致力于推动从近地空间到宇宙学尺度的基础与应用物理学研究，涵盖理论突破、实验创新与观测技术的发展。本刊主要发表研究论文、综述和通讯，但也会考虑其他类型的文章。我们的宗旨是鼓励科学家尽可能详细地发表他们的研究成果，且对论文篇幅不设上限。

本刊已被包括SCIE、Scopus、ADS等多个数据库收录，2024年影响因子为2.6，审稿发表流程高效，稿件投稿后平均21.8天即可获得首轮审稿决定，录用稿件中位发表时长仅3.6天，致力于为领域内科研工作者提供便捷、高效的学术发表与交流平台。

2024 Impact Factor 2.6 2024 CiteScore 5.2 Time to First Decision 21.8 Days Acceptance to Publication 3.6 Days
来源：Universe

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发