

平方公里阵列射电望远镜（SKA）专项 2022 年度项目申报指南

平方公里阵列射电望远镜（SKA）将是人类有史以来建造的最大射电望远镜，同时也是一部超越国界的全球大科学装置，孕育重大科学发现和突破。SKA 专项的总体指导思想是：持续深入参与 SKA 国际大科学工程，加强人才培养和国际科技合作，积极融入全球 SKA 创新网络；紧密围绕国际 SKA 总体科学目标，以及中国 SKA“2+1”科学目标和“三步走”发展战略，着力提升我国射电天文基础研究水平，力争获得丰硕科学成果；在参与 SKA 研发设计和工程建设中，推动贡献中国方案，带动国内相关领域的前沿技术发展。

2022 年，SKA 专项拟支持中国 SKA“2+1”科学目标中 5 个科学方向的研究任务，拟支持 6 个项目，拟安排国拨经费约 1.09 亿元。本专项指南要求以项目为单元整体组织申报，须覆盖所申报指南二级标题（例如 1.1）下的所有研究内容和考核指标。同一指南方向下，原则上只支持 1 项，仅在申报项目评审结果相近、技术路线明显不同时，可同时支持 2 项，并建立动态调整机制，根据中期评估结果，再择优继续支持。原则上每个项目下设课题数不超过 4 个，参与单位总数不超过 6 家。项目设 1 名项目负责人，项目中的每个课题设 1 名课题负责人。项目执行期一般为 3~5 年，根据中期考核评估结果对项目进行动态调整。国家遥感中心作为项目管理机构负责受理项目申报，并组织开展项目论证评审工作。

1. 宇宙学和中性氢巡天方向

1.1 中性氢巡天和宇宙学观测数据处理

研究内容：使用国内外已有的中频（频率在 SKA-mid 阵列范围之内）射电望远镜干涉阵列，通过对阵列观测实际数据的处理，研究中性氢强度映射观测和中性氢星系观测的关键技术，如射电干扰识别、阵列定标校准、波束合成、综合合成图、前景减除、功率谱估计等数据处理方法。开展国际合作，参与国际 SKA 先导项目中性氢数据的分析和研究，分析影响 SKA 中性氢观测的误差来源（如白噪声、 $1/f$ 噪声、校准误差等）和消除手段。积极参与国际 SKA 宇宙学工作组巡天方案的制订、宇宙学数据处理管线的研发，以及参加相应的 SKA 数据挑战等国际 SKA 科学活动。

考核指标：完善射电干涉阵列中性氢数据处理管线，并用于分析国内外中频射电阵列中性氢巡天和宇宙学观测数据，国内试验阵列数据量不小于 100TB。完成频带宽度不低于 50MHz、天区覆盖面积不小于 6000 平方度、频谱分辨率不低于 0.4MHz、点源灵敏度不低于 3Jy、图像分辨率不低于 30 角分、动态范围不低于 20dB 的天图，获取角功率谱 ($l_{\max} > 400$)。完成波束数量不少于 64 路、带宽不低于 50MHz、时间分辨率优于 0.3 毫秒的数字多波束合成实验,并用于巡天观测。形成一支 10 人以上掌握中性氢的射电干涉阵列数据处理技术的科研团队。

1.2 中性氢巡天和宇宙学模拟

研究内容：开展中性氢大尺度结构的数值模拟，构建可

用于 SKA 宇宙学研究的中性氢大尺度结构模拟样本；研究中性氢的分布和演化模型，包括统计特性、与其他波段观测的互相关等；研究暗物质、暗能量、修改引力、暴胀或其他宇宙起源模型的中性氢观测方法，发展深度学习等检验和区分宇宙学模型以及精确测量宇宙学参数的新手段；结合当前星系和星系际介质的重大科学问题，如星系盘的形成过程、星系际介质的湍流、宇宙网状结构、星系与星系际介质的物质交换和反馈作用等，开展针对 SKA 宇宙学的科学数值模拟。

考核指标：基于 N 体宇宙学数值模拟结果（体积不小于 3Gpc^3 ，粒子数不少于 2 千亿），利用星系形成的半解析模型、暗晕—星系关联唯象模型等方法，获得中性氢大尺度结构模拟样本以及相应的光学星系样本；完成不少于 3 组流体动力学宇宙学数值模拟（盒子边长不小于 0.1Gpc ，流体粒子数或格点数不少于 10 亿），估计重子物理过程对中性氢观测的影响；利用中性氢大尺度结构模拟结果，考虑前景和观测效应，获得 SKA 仿真模拟数据；结合 SKA 先导设备及我国的天文观测设备和资源，研究通过未来 SKA 观测和交叉相关等多波段观测，检验宇宙学理论模型，并预测对宇宙学参数的测量精度；形成一支 20 人以上掌握 SKA 中性氢巡天和宇宙学仿真模拟的科研团队。

2. 宇宙磁场方向

2.1 宇宙磁场

研究内容：基于国际 SKA 先导设备 ASKAP 和 MWA、

我国 FAST 以及其它射电望远镜，研究干涉阵的宽频带、大视场、高动态的偏振校准和成图技术，开发、部署和测试数据处理管线，形成中国团队独立自主的宇宙磁场数据处理系统。基于射电偏振观测，从多个尺度上测量银河系、近邻星系、活动星系核、星系团和宇宙网络中的磁场结构和强度，理解宇宙磁场的起源和演化、磁场在喷流形成、准直和传播过程以及在星系漩涡结构和更大尺度结构形成和演化中的关键作用。

考核指标：获取包括 MWA 和 ASKAP 在内的 SKA 先导设备的历史和未来观测数据 2PB 以上；部署 MWA 和 ASKAP 的数据处理管线，完成偏振数据校准和成图，校准后指向中心的偏振泄漏不高于 1%，主波束范围内的偏振泄漏不高于 5%；基于 MWA 观测数据，获取赤纬+30 度以南的全天弥漫辐射的偏振图像，建立延展偏振射电源星表；优选不少于 200 个射电星系，开展多频率（0.1~8GHz）、多分辨率（1~100 角秒）的偏振观测，获得不同尺度上的磁场结构；形成一支 20 人以上掌握宇宙磁场研究和偏振数据处理核心技术的团队。

3. 暂现源探测方向

3.1 快速射电暴及高能暂现源的深度观测和定位

研究内容：基于 ASKAP、MWA 等 SKA 先导设备观测数据，研究面向 SKA 低频和中频的快速射电暴（FRB）深度观测和定位的数据处理技术方法；结合深度学习算法及 SKA 仿真数据，研究射频干扰消除及 FRB 快速识别和分类方法。

探索和建立基于综合孔径技术的波束合成、基带触发记录、异地信号对比等 **SKA** 相关技术及方法，开展基于综合孔径技术的单脉冲定位验证、**FRB** 深度观测和尝试配合 **FAST** 对 **FRB** 进行深度观测和定位。利用 **SKA** 先导望远镜、**FAST** 并结合国内已有射电望远镜阵列开展 **FRB**、磁星爆发以及黑洞潮汐撕裂恒星事件等高能暂现源的射电观测；基于时间、能谱、偏振等精确测量及多波段数据，研究 **FRB** 起源、辐射机制及其宇宙学和基础物理学应用，探究高能暂现源中心致密天体、抛射产物、暴周环境等基本物理性质。

考核指标：部署 **FRB** 数据处理管线，并通过 **SKA** 先导设备数据完成验证。基于 **MWA** 观测数据，研究数字波束合成算法对大视场数据并行搜寻，并利用视场内已知脉冲星完成验证；基于 **ASKAP** 观测数据，研究 **FRB** 搜寻和定位，处理速度达到实时，相对于 **FRB** 爆发的搜索延迟不超过 3 秒，确认为 **FRB** 的准确率不低于 95%。利用已知 **FRB** 信号开展 **SKA** 仿真数据库研究，数据库样本类别和数量可根据需要设置，确立成熟的 **SKA** 暂现源数据产品形式。实现光纤连接、协同（信号交叉检验及叠加）及相干观测和双偏振接收，可记录不少于 5 秒的基带数据，捕获单脉冲信号或 **FRB**。在 **FRB** 起源、机制以及宇宙学和基本物理应用等取得重要观测和理论进展。形成一支 20 人以上掌握 **SKA** 快速射电暴及高能暂现源数据处理核心技术团队，和 10 人以上相关科学研究团队。

4. 活动星系核反馈和黑洞方向

4.1 活动星系核反馈

研究内容：利用数值模拟定量研究高光度与低光度活动星系核风的物理性质；开展费米气泡和 eROSITA 气泡等银河系核区爆发现象的数值模拟研究，预言相关 SKA 射电信号；针对近邻低光度活动星系核（Sgr A*、M31*、M32*等），利用射电干涉阵 VLA、VLBA 等在亚 pc 至 100 pc 尺度上探测喷流和风；针对稠密星系环境（星系团、星系群等）中不同类型的寄主星系，利用 VLA 以及 SKA 先导设备 MeerKAT 等在 10~1000 pc 尺度上探测喷流与外流等射电延展结构，研究活动星系核的触发与反馈；对低光度星系核外流的观测和数值模拟结果进行对比与相互验证，研究活动星系核外流的性质，为 SKA 大样本活动星系核外流的研究奠定基础；利用 VLA 以及 SKA 先导设备 MeerKAT、ASKAP 等观测数据测量活动星系核寄主星系中中性氢气体的含量、分布、运动学特征等，研究活动星系核反馈对冷气体成分与寄主星系演化的影响，为 SKA 在更大红移范围开展大样本研究提供数据分析方案。

考核指标：给出低、高光度活动星系核产生的不同尺度上、不同电离度风的物理性质；完成含宇宙线演化的银河系中心费米气泡等爆发现象的数值模拟（空间分辨率 <30 pc），预言 SKA 相关射电辐射；取得 10 Mpc 以内有代表性的近邻低光度星系核的 VLA 或 VLBA 高分辨率射电观测（C 波段噪声水平 <0.05 mJy/beam，或相近波段达到等价噪声水平），生成二维图像并测量谱指数；取得一个稠密环境（星系团、

星系群等)中星系核喷流或外流样本的 MeerKAT 或 VLA 高分辨率射电观测数据,生成二维图像(C波段噪声水平 <0.05 mJy/beam,或相近波段达到等价噪声水平)并测量谱指数;完成低光度星系核外流的观测和数值模拟结果对比,得到低光度星系核外流的物理性质;基于 VLA、MeerKAT、ASKAP 等观测数据,构建活动星系核中性氢气体分布和运动学特征参数测量方案,并应用于活动星系核样本的实例研究;形成一支 12 人以上掌握 SKA 活动星系核反馈观测与数值模拟的科研团队。

5. 超高能宇宙射线低频探测方向

5.1 超高能宇宙射线低频探测

研究内容:对标国际 SKA 高能粒子组的科学目标,开展利用低频射电方法探测超高能宇宙射线的验证实验。研究低频射电阵列探测超高能宇宙射线的硬件实验技术和数据处理方法;构建超高能宇宙射线产生射电信号的物理模型和数值模拟管线;重建原初高能粒子的方向和能量,研究 $10^{16.5} \sim 10^{18}$ eV 能段的宇宙射线物理。利用地基射电望远镜搜寻超高能宇宙射线或中微子与月壤相互作用产生的低频闪烁脉冲,研究并掌握相关的数据处理方法。

考核指标:通过小型低频射电阵列实验,完成在线实时事件甄别和数据采集系统的研发;研究全自动自触发算法探测高能粒子,特别针对 60 度以上的大天顶角事例。完成仿真模拟和重建软件,实现利用低频射电信号重建高能粒子事例的方向和能量。实验获取不少于 500 天的观测数据,共探

测到不少于 50 万个 $10^{16.5}\text{eV}$ 能量以上的宇宙线事例，并通过重建获得 $10^{16.5}\sim 10^{18}\text{eV}$ 能段的宇宙射线能谱，对该能段宇宙射线的起源作出限制；形成一套完整的利用地基望远镜搜寻月球 Askaryan 脉冲的观测及数据处理管线；形成一支 20 人以上掌握超高能宇宙射线低频探测实验硬件技术、数据处理技术及理论研究的科研团队