

附件

平方公里阵列射电望远镜（SKA）专项 2025 年度项目申报指南 （征求意见稿）

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。

2025 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和 1 个 SKA 区域中心技术研发方向，持续提升国内 SKA 相关领域研究能力和人才储备，提高中方未来申请 SKA 观测项目的竞争力。

1.超高能宇宙射线低频探测

研究内容: 面向 SKA 高能粒子方向确立的科学目标, 建立开展利用低频射电方法探测超高能宇宙射线的技术验证平台;基于该平台构建超高能宇宙射线的射电探测工具链; 研究基于 SKA 低频阵列的宇宙射线触发技术; 同步研究超高能宇宙射线产生射电信号的物理模型和数值模拟技术; 开发低频射电探测系统标定和数据校准技术; 发展原初粒子方向和能量的重建方法, 研究 10^{17}eV 以上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纳秒脉冲。

考核指标:建设技术测试验证平台, 其中低频射电探测单元不少于 250 套, 具有独立探测极化功能, 工作频率 50-200MHz, 信号采样速率 500MHz, 系统链路增益大于 40dB, 系统底噪小于 20uV; 研制满足 SKA 射频干扰抑制要求的触发粒子探测器 25 台, 每台探测器的有效面积不小于 0.81 平方米, 有效厚度不小于 3 厘米, 粒子探测效率高于 95%, 单粒子时间测量精度好于 3 ns, 信号探测不均匀性小于 20%; 完成全链路模拟软件一套; 完成基于标定的数据校准处理软件一套; 完成重建算法软件一套; 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技术及理论研究的科研团队。

2. 星际介质和恒星形成研究

研究内容：基于 SKA 先导设备 MeerKAT、ASKAP、MWA 以及 FAST、ALMA、JVLA 等射电望远镜观测数据，针对 SKA 大天区、大样本、海量数据的特点，对标国际 SKA 科学工作组“银河系科学”开展研究：开发大规模巡天及射电干涉阵数据处理和分析方法；测量银河系不同尺度中性氢的发射线和吸收线，研究中性气体的物理特性；构建中性氢云、分子云、恒星形成区、电离氢区样本库，结合原子气体、分子气体和尘埃，描绘从弥散原子云到分子云，再到恒星形成区、膨胀气体泡等恒星形成活动与反馈的演化图景；搜寻超新星遗迹、脉冲星风云等恒星死亡后的遗迹，探究它们的物理性质和对星际介质的反馈作用；探索人工智能技术在星际介质研究中的应用，验证其可行性、可解释性、可泛化性，搭建星际介质人工智能信息提取、分类、识别的方法库。

考核指标：基于 SKA 先导设备的第一手观测数据，掌握其数据处理和分析方法。基于 FAST 等大规模无偏巡天在大于 300 平方度天区内对比分析中性氢云和分子云的物理性质，建立全银道面 1000 个以上中性氢云、分子云结构、恒星形成区、电离氢区的样本库，从而给出从原子云到分子云再到恒星形成区、恒星形成活动与反馈的完整演化图像。基于全天不少于 300 个样本源来验证超新星遗迹、脉冲星风云等恒星死亡后残留气体云的搜寻方法，描绘出它们在多波段的演化特性以及对星际介质的反馈作用。开发适用于 SKA 先导设备数据的人工智能分析方法；针对包括电离氢区和超新星遗迹在内的关键天体类型实现自动化快速搜寻、认证和

参数提取，并提供不少于 2 种新方法以交叉验证；形成候选体样本库供 SKA 观测。形成一支 20 人以上掌握 SKA 先导设备数据分析和星际介质研究核心技术的团队。

浙江大学 OOCST

3.中性氢星系动力学和演化

研究内容: 基于国际 SKA 先导设备 ASKAP 和 MeerKAT 以及我国的 FAST 望远镜, 利用高分辨率中性氢谱线成图开展中性氢星系动力学研究, 分析不同类型、不同环境下的星系的气体与暗物质的分布, 揭示冷气体和暗物质在星系形成与演化中的作用; 开展大规模中性氢星系巡天, 获得数万星系的中性氢谱线, 研究中性氢质量函数及其随星系密度的变化, 利用大样本星系的 HI 数据, 结合多波段观测数据, 系统性地研究星系中性氢气体的含量与星系性质的关系, 明确星系环境对星系演化的作用; 开展国际合作, 参与中性氢相关的国际 SKA 先导项目的研究; 探测红移 0.3 以上的中性氢, 检验星系演化的模型; 开展星系中性氢的数值模拟, 结合观测与模拟的结果, 研究中性氢气体与星系形成和演化的关系, 包括不同尺度上的各种重子过程对星系中以及星系周围中性氢气体的影响。

考核指标: 利用 SKA 先导设备 (FAST 或 ASKAP、MeerKAT 等) 获得 30 个以上近邻星系的深度成图图像, 中性氢探测极限达到柱密度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$ (4σ); 取得不少于 5 万个星系的中性氢谱线并构建中性氢星系质量函数, 确立不同形态结构星系晕中性气体的径向分布图像; 取得 10 个以上致密星系群及并合星系中性氢深度分布, 探测极限至 $10^{17} - 10^{18} \text{cm}^{-2}$ 量级, 结合多波段观测数据系统研究不同环境下星系周介质和星系际介质的重子物质循环; 部署中性氢巡天数据处理管线, 完善中性氢源的自动识别方法, 能识别 10 万以上量级的中性氢源并自动提取其谱线的特征参数 (包括流量

密度，谱线宽度，线心速度，谱线对称度)；完成 15 组以上星系尺度流体模拟 (分辨率 10 至 100pc)，结合半解析模型，估计暗晕、各重子过程对星系及其周围中性氢细致分布与动力学状态的影响，根据 SKA1 及其探路者参数，模拟观测图像和谱线轮廓；形成一支 20 人以上掌握 SKA 中性氢星系观测与数值模拟的科研团队，能通过国际竞争获得 SKA1 的观测时间。

浙江大学 OOCST

4.生命摇篮

研究内容: 开展原行星盘盘风及盘与行星相互作用的(磁)流体和尘埃多流体数值模拟, 结合多波段数据仿真, 研究“生命摇篮”环境演化与行星宜居性; 基于射电干涉阵列数据, 揭示原行星盘的亚结构及尘埃生长演化等物理性质和过程; 模拟星际分子和尘埃的化学演化和光谱特征, 建设 SKA 光谱样本库, 搜寻新的复杂有机分子和新型碳尘埃种类; 构建恒星-行星系统磁场相互作用射电辐射模型; 探寻类地行星系统的窄带漂移信号 (SETI); 针对 SKA 开展相关公众科学项目。通过预研究发展独特的研究方向和思路, 最终形成具有国际竞争力的观测申请。

考核指标: 完成 20 组对原行星盘的化学、辐射过程、与行星相互作用、及尘埃多流体的数值模拟; 完成利用多波段图像反演原行星盘物理参数的数据处理管线; 依据 SKA 观测能力, 筛选出不少于 10 个符合观测条件的原行星盘源, 形成详细的源表; 获得原行星盘和恒星形成区中重要分子的化学演化图景, 以及 SKA1-mid 频谱覆盖范围内不少于 15 种气态分子品种的实验室和模拟光谱; 构建多种碳质尘埃如纳米金刚石、富勒烯、多环芳香烃及其衍生物的从紫外到射电波段的光谱库和工具包; 完成天文环境中小分子反应生成复杂有机物的建模; 利用干涉阵列数据为 SKA 对生命前分子观测提供不少于 10 个的样本源; 建立起系外行星与宿主恒星的磁场相互作用辐射模型, 并通过 MWA 和 FAST 等现有望远镜进行预观测, 形成针对 SKA 观测系外行星与宿主恒星磁场相互作用的完整观测方案; 完成对不少于 10 个系外类地行星的宜居性特征研究;

利用现有望远镜对不少于 100 个系外行星系统进行窄带漂移信号的搜寻，开发高效的 SETI 信号搜寻数据处理管线，并构建一个系统的研究数据库；上线公众科学项目一项以上。组建一支不少于 20 人的科研团队，团队成员需系统掌握 SKA 对原行星盘、复杂有机分子、系外行星系统的观测技术、实验室研究方法以及数值模拟手段；团队需与 SKA 国际相关研究机构及 SKAO 国际组织建立常态化交流机制。

浙江大学 OOCST

5.活动星系核反馈

研究内容: 针对近邻低光度活动星系核(M31*与 M81*), 利用射电干涉阵 VLA 在亚 pc 至 kpc 尺度上探测喷流和风;针对稠密星系环境(星系团、密近星系对)中不同类型的宿主星系, 利用 VLA 以及 SKA 先导设备 MeerKAT 在 10 pc ~ 10 kpc 尺度上探测射电延展结构(喷流或外流), 研究活动星系核的触发与反馈;通过机器学习方法,在 VLA 与 ASKAP 射电巡天中系统搜寻并认证未知射电结构及其宿主星系,为将来参与 SKA 巡天项目奠定基础;结合 VLA 以及 SKA 先导设备 MeerKAT, 与单天线 FAST 的观测数据,测量活动星系核宿主星系中性氢气体的含量、分布、与运动学特征,研究活动星系核反馈对冷气体成分与宿主星系演化的影响;开展费米气泡与 eROSITA 气泡这两个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;用数值模拟研究活动星系核的外流与盘星系和椭圆星系中星际介质、星系周介质的相互作用以及对星系中恒星形成的影响,并与射电和其他多波段观测结果进行对比。

考核指标: 取得 10 Mpc 以内有代表性的近邻低光度星系核的 VLA 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、密近星系对等)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;构建搜寻射电结构宿主星系的多波段机器学习工具;结合 VLA、MeerKAT 干涉阵观测数据以及单天线数据,完善对活动星系核中性氢气体分布和运动学特征的

参数测量方案,并应用于活动星系核样本的实例研究;完成银河系中心费米气泡与 eROSITA 气泡的数值模拟(最高空间分辨率 <30 pc),预言 SKA 相关射电辐射;完成活动星系核外流与星际介质、星系周介质相互作用,以及对恒星形成的影响的数值模拟(最高空间分辨率 <10 pc);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。

浙江大学 OOCST

6.中国 SKA 区域中心初期建设

研究内容: 按照国际 SKA 区域中心 (SRC) 网络项目 2027 年对应的阶段指标, 研制高可扩展的超大存储系统和低功耗可扩展高性能计算系统, 与国际 SRC 团队合作部署测试 SRC 支持软件系统。开展跨洲际数据链路高效传输技术以及海量数据同步关键技术研究, 参与国际 SRC 网络数据分发与测试, 形成具备处理 SKA 科学验证阶段观测数据处理能力的国际 SRC 网络中国节点, 并完成中国 SRC 全面建设的实施方案。

考核指标: 根据国际 SRC 网络存储要求, 项目建设期内达到 16PB 数据存储能力。完成旧数据自动迁移到新节点, 支持文件存储、块存储和面向对象存储的存储系统, 并具备冷温热分级; 完成具备 0.6 PFLOPS 运算能力, 待机功耗低于全负荷功耗 1.5 倍以上, 支持计算节点的任意扩展, 实现 Slurm HPC 和 Kubernetes 负载混合调度, 满足 SRC 网络高性能计算技术要求的系统; 完成 SKA 数据同步与分发方案, 具备 50Gb/s 的 SKA 数据传输的峰值带宽, 完成与 SRC 网络至少 4 个国家节点的数据传输链路实验, 实验测试期间的数据传输带宽高于峰值带宽的 80%; 按照国际 SRC 开发进度和要求, 确保在中国 SRC 上可以顺利运行 SKA 科学验证的软件, SRCNet 管理与调度平台系统, 实现 SRCNet 统一的身份管理。参与国际 SRC 网络建设, 完成调试和运行任务; 形成中国 SRC 建设的建议方案, 并通过主管部门组织的专家评审。