

平方公里阵列射电望远镜（SKA）专项 2025 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。

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。每个指南方向拟支持项目数为 1 项，对于申报项目数量不多于拟支持项目数量的指南方向，由科学技术部国际科技合作中心按程序组织指南编制专家组审核研判是否开展项目评审立项，若继续开展项目评审立项，将提高评审立项标准。

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单元和阵列中心硬件工具链; 研究基于 SKA 低频阵列的宇宙射线触发技术; 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, 具有独立自触发全极化探测功能, 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, 考虑不同的天顶角、方位角、粒子种类与能量后, 总计生成 40 万以上的模拟事例; 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, 模拟事例的重建精度优于 0.9 度, 成分鉴别参数 X_{max} 在 EeV 好于 25 g/cm^2 ; 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. 生命摇篮

研究内容：围绕“原行星盘物质分布—化学演化—宜居环境—生命信号”主线，系统探究行星系统从形成到生命信号探测的完整链条：首先，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，揭示原行星盘物质分布的动态特征，为后续化学演化研究奠定物理基础；基于射电干涉阵列数据解析原行星盘亚结构及尘埃生长演化过程，进一步细化物质分布的关键物理性质。在此基础上，模拟星际分子和尘埃的化学演化及光谱特征，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，追踪化学演化路径及其对宜居环境形成的物质支撑。同时，构建恒星-行星系统磁场相互作用射电辐射模型，探究磁场环境对宜居性的调控；通过探寻类地行星系统的窄带漂移信号（SETI），捕捉可能源自技术文明的射电辐射特征，助力搜寻生命高级阶段的文明活动痕迹。针对 SKA 开展相关公众科学项目，扩大研究在公众中的影响力，为后续人才培养做储备。

考核指标：完成 20 组原行星盘数值模拟并形成可复现数据集，开发多波段图像反演管线实现关键参数自动化提取与误差分析；基于 SKA 观测能力筛选 10 个高价值原行星盘候选源，编制详细源表并构建分子的化学演化时空图景，获

取 15 种气态分子光谱建立丰度诊断标尺；建成尘埃成分紫外-射电光谱库，开发光谱匹配工具包，支持 SKA 数据解析，构建小分子向复杂有机物转化动力学模型并量化反应效率；利用干涉阵列数据筛选 10 个生命前分子富集样本源，建立系外行星-恒星磁场相互作用模型，通过 MWA、FAST 预观测形成 SKA 专项观测预案；完成 10 个系外类地行星宜居性评估，对 300 个系外行星系统开展窄带信号搜寻，开发 SETI 数据处理管线并构建信号数据库；上线 1 项 SKA 公众科学项目，组建 20 人科研团队并建立与 SKA 国际机构的常态化交流机制。

3. 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(Virgo 等星系团、密近星系对)中星系核喷流或外流的样本（包含星系核数量 >20 ）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；构建射电结构的宿主星系搜寻多波段机器学习工具，应用于 VLA 与 SKA 探路者巡天数据中；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 中频波段射电辐射；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 20 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。

4. 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：发展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完整演化图景；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，研究它们与 LHAASO 探测到的伽马射线源的关系；探索人工智能技术在星际介质实测数据研究中的应用，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，完成数据校准和成图，掌握数据处理和分析方法。基于 FAST 等大规模巡天在大于 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，研究它们的多波段演化特性、对星际介质的反馈作用，探究 LHAASO 伽马射线源的起源。基于新一代人工智能技术开发适用于上述数据的分析方法，对电离氢区、超新星遗迹等关键天体样本实现自动化搜寻、参数提取、跨数据集泛化能力，

形成 3 种新方法以交叉验证，识别准确率 $\geq 85\%$ ，大数据处理效率相比传统方法提升不少于 50%。根据实测数据及人工智能方法，建立包含参数化描述与不确定性评估的候选源样本库，以供 SKA 观测。最终形成一支 30 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。

5. 中性氢星系动力学和演化

研究内容: 依托国际 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 (HI) 谱线成图与大规模巡天结果，获取不同类型与环境下星系的 HI 空间分布和动力学结构，刻画其与暗物质晕、宇宙大尺度结构、星系演化阶段、以及包括星系周介质及星系际介质的环境之间的关联。系统分析环境效应对 HI 含量、气体循环与星系性质的影响；构建中性氢质量函数，探索其随环境和红移的演化；结合多波段数据，建立星系 HI 含量与恒星形成、结构参数及环境条件之间的经验关系；建设适用于大规模 HI 巡天的自动化数据处理管线与数据系统，提升 HI 源识别、参数提取与多波段联合分析能力，发展相关机器学习、深度学习方法，为 SKA 海量观测数据的科学挖掘提供支撑；参与国际 SKA 先导项目，拓展观测至红移 $z > 0.3$ ，量化过去约 40 亿年内各类星系 HI 含量的演化趋势，检验星系形成与演化模型；同步开展数值模拟，联合观测结果约束重子过程的物理机制并验证理论模型。

考核指标: 利用 ASKAP 的数据获得 300 个以上的星系

成像图像，开展 HI 分布和动力学特性、及其对星系特征和环境依赖性的研究；利用 MeerKAT 获得至少 5 个 FAST 可观测天区内的 HI 图像，并结合 FAST 数据，获得高动态范围的星系 HI 柱密度图($10^{18.5} \text{ cm}^{-2}$ 量级)，开展高精度动力学建模；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及星系运动学模型，建立 HI 分布与暗晕性质、大尺度结构环境及星系演化路径的统计关联模型；建立星系 HI 与恒星形成之间的标度关系及其环境依赖；依托 SKA 先导设备，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^{18} 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；建立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 25 人以上的掌握 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。

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 SRCNet v0.3 阶段指标，研制 SKA 专用的高

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，在性能上热存储 IOPS 优于 100,000，随机读写时延 $<100\mu\text{s}$ ，吞吐量高于 6GB/s；温存储 IOPS 优于 150，随机读写时延 3-5ms，吞吐量 100-200MB/s。总体存储的各项考核指标达到 SKA 统一技术要求；完成具备 0.6 PFLOPS 运算能力，计算节点高性能互联网络性能不低于 200Gbps。带宽计算性能波动 $\leq 5\%$ 。系统年可用性优于 SKA 统一的管理要求。待机功耗 $\leq$ 全负荷功耗的 66.7%。支持计算节点动态扩展，相同配置 2 倍节点时效率 $\geq 90\%$ ，4 倍节点时效率 $\geq 80\%$ 。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。

浙江大学 0924C34