

附件

平方公里阵列射电望远镜（SKA）专项 2020 年度定向项目申报指南

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 第一阶段（SKA1）预计将于 2021 年启动建设。SKA 专项的总体指导思想是，紧密围绕国际 SKA 望远镜总体科学目标和任务规划，快速提升我国射电天文科学研究水平，推动我国射电天文学研究与国际接轨，同时，在 SKA 研发设计和工程建设中牵引带动相关技术的发展。

SKA 专项实施的基础是中国 SKA“2+1”科学发展战略：即选定“利用中性氢探测宇宙黎明和再电离、通过脉冲星探测引力波及精确检验广义相对论”为重点科学方向，“中性氢巡天宇宙学”“暂现源探测”等 8 个其他优势领域为特色科学方向，集中精力投入科学队伍建设，实现科学上从跟跑到并跑，力争在个别领域实现领跑，取得 SKA 的第一科学发现，获得丰硕科学回报。

2020 年，SKA 专项拟支持 SKA 重点科学方向下 7 个定向委托项目，国拨经费总概算 3.03 亿元。所有项目应整体申

报，须覆盖相应指南方向的全部考核指标，并在项目中加强人才队伍培养和国际科技合作交流。科技部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。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。项目下设课题原则上不超过 4 个，参与单位总数不超过 10 家。

1.宇宙黎明和再电离探测

1.1 宇宙再电离探测的观测数据处理

研究内容:基于国内 SKA 探路者 21 厘米阵列(21CMA)和澳大利亚 SKA 探路者默奇森阵列 (MWA) 的观测数据,研究低频射电干涉阵列特别是面向 SKA1 低频 (SKA1-low) 的数据处理技术方法;进行宇宙再电离时期探测统计测量和成像研究,并且在延展源拟合和去除方法上实现突破;结合深度学习算法及 SKA 观测仿真,研究射电源识别、拟合和去除方法;深度参与国际合作,参与 MWA 三期技术研发。

考核指标:实现基于 SKA 探路者阵列的深场成像研究,结合 MWA 二期及三期的观测数据及 21CMA 联测数据,获得在 20 平方度至 40 平方度范围内的低频图像(积分时间不小于 6 小时),在 150MHz 观测频率上 mJy 流量密度弱源的完备性达到 80%;形成低频射电数据处理管线 (pipeline),完成宇宙再电离数据处理方案;完成可适用于 SKA1-low 阵列的仿真管线,结合深度学习算法建立射电源的自动识别方

法，识别弱源流量须达到 1mJy；完成针对 MWA 三期的数字接收机研发，实现采样精度不低于 12bits 的 16 通道信号采集；形成一支 20 人以上掌握宇宙黎明和再电离探测低频射电数据处理技术的科研团队。

有关说明：由中国科学院上海天文台作为项目牵头单位申报。

1.2 面向宇宙再电离探测的低频实验与观测

研究内容：基于 21CMA 开展面向 SKA 宇宙再电离探测的低频实验与观测。实施对北极天区的低频观测，持续提供 21CMA 的 50—200MHz 射电干涉观测数据，为深度成像研究提供第一手资料和积累经验；依托 21CMA 开展 SKA1-low 验证实验，研究并掌握 SKA1-low 相关的低频观测技术和数据处理方法；开展前期探索性的低频实验，针对此类探索性的低频实验进行建模研究。

考核指标：累积 21CMA 宇宙再电离深场观测有效数据不少于 300TB；基于 21CMA 的 4 个天线站点实现宽带数字波瓣成形，并实现两个不同波瓣的同时成形，实时数字带宽不低于 200MHz，原始采样动态范围不低于 70dB，波瓣形状参数更新间隔短于 60 秒；根据探索性低频实验的结果，形成全新的总功率测量实验方案和相应数据处理方法；形成一支 10 人以上掌握低频实验和观测核心技术的科研团队。

有关说明：由中国科学院上海天文台作为项目牵头单位申报。

1.3 低频射电干涉阵列的高精度校准方法

研究内容：以仿真、实验与先导阵列数据分析为主要手段，研究解决 SKA1-low 阵列在观测中所面临的可见度函数高精度校准问题。系统分析 SKA1-low 可能存在的仪器效应，并研究改正去除办法；研究天线增益、指向、电离层、各种干扰源的检测方法；开发高精度和高性能的校准算法；通过基础理论方面的研究，进一步研究在并行或分布式等计算环境下的算法并行化实现和部署实施方法。

考核指标：所建立的低频干涉阵列望远镜仪器效应模型经 SKA1-low 先导阵列观测数据验证（包括基线误差、方向依赖等）须有效可行；通过天线增益、指向误差、电离层干扰、射频干扰源检测与剔除等一系列算法的实现，以及电离层特性补偿，满足最终成像在 20 平方度天区内动态范围达到 10^5 ；形成一支 15 人以上的掌握低频干涉阵列高精度数据校准处理的科研团队。

有关说明：由广州大学作为项目牵头单位申报。

1.4 宇宙再电离理论与数值模拟

研究内容：开展宇宙黎明和再电离的辐射转移数值模拟，在大尺度和高精度上对再电离时代的中性氢 21 厘米信号进行预言；开展宇宙黎明和再电离的快速半数数值模拟，对再电

离参数空间进行扫描,建立 21 厘米仿真信号大数据样本库;发展 21 厘米数据科学解释的新方法,开发用于科学解释的数据处理管线;研究第一代发光天体的 21 厘米信号特征,研究 21 厘米在功率谱之外的其他统计方法、21 厘米与其它观测手段的交叉关联等理论问题,为 21 厘米观测项目提供理论支撑和科学方案。

考核指标: 完成大规模宇宙黎明和再电离的辐射转移数值模拟(尺度 $>2\text{Gpc}$,格点数 >100 亿);完成宇宙黎明和再电离的半数值模拟,构建不少于 1000 个不同再电离参数下的 21 厘米仿真样本;完成用于科学解释的 21 厘米数据处理管线;完成至少 2 类宇宙再电离观测统计量(包括 21 厘米除功率谱之外的其它统计量,21 厘米与其它观测手段的交叉关联等)的理论研究;形成一支 15 人以上掌握 SKA 宇宙再电离理论与数值模拟的科研团队。

有关说明: 由清华大学作为项目牵头单位申报。

2.脉冲星搜寻、测时和引力检验

2.1 脉冲星测时和检验引力理论

研究内容: 研究适应 SKA 的阵列望远镜脉冲星测时和引力理论检验的技术方法及相关科学。利用国内现有设备组建 SKA 先导射电望远镜阵列,分别实现 SKA1 中频(SKA1-mid)频段和 SKA1-low 频段的相干信号接收,并开展脉冲星测时观测;识别阵列望远镜开展脉冲星测时观测中的潜在系

统差，研究修正这些系统差的技术方法；利用获取的脉冲星测时数据开展脉冲星时间和引力理论检验等相关科学课题研究；建设高精度脉冲星 VLBI 观测系统，理解 SKA1 的脉冲星 VLBI 观测需求并掌握相关技术。

考核指标：针对 SKA1-mid 频段，改造国内现有设备，对 4 台以上反射面天线进行波束合成，在扣除系统差后，达到 100ns 的测时精度及 1% 的偏振校准精度；研究 SKA1-mid 频段内宽带干扰信号的甄别和检测，实现 50MHz-8GHz 的全带宽实时监测，其 100% 概率最小俘获时间优于 10ns；针对 SKA1-low 频段，实现基于 21CMA 的脉冲星测时；针对引力理论辐射区检验，发展脉冲星引力波数据处理软件，实现引力波搜寻功能；形成年稳定度 1×10^{-14} 的脉冲星时间，脉冲星校准的原子钟年稳定度达到 2×10^{-14} ；完成 VLBI 基带脉冲星数据相干消色散系统。实现 2GHz 带宽观测能力，获得 5 颗脉冲星精度达 0.5 毫角秒的测量结果；形成一支 15 人以上掌握 SKA 脉冲星阵列望远镜测时观测和科学数据分析的科研团队。

有关说明：由中国科学院国家天文台作为项目牵头单位申报。

2.2 SKA 脉冲星搜寻预研

研究内容：开展 SKA 相对论双星搜寻技术研究；通过新型通用计算硬件来实现快速实时的搜寻软件系统；利用国内

外 SKA 先导设备进行相干消色散深场搜寻和低频脉冲星搜寻实验。

考核指标：开发至少二阶的轨道加速度搜寻新技术；完成比传统技术速度至少提升一个量级的异构并行搜寻软件；实现丢包率小于 1×10^{-7} 的在线流处理功能；在 SKA1-mid 频段开展高灵敏度相干消色散搜寻实验，开发同时 10 个以上色散的相干搜寻原型机系统；在 SKA1-low 对应频段，建成 21CMA 低频脉冲星搜寻系统；形成一支 18 人以上掌握 SKA 脉冲星搜寻技术的科研团队。

有关说明：由中国科学院国家天文台作为项目牵头单位申报。

2.3 脉冲星理论研究支撑

研究内容：用脉冲星计时检验强场引力理论和分析中子星物态；用脉冲星射电观测解析脉冲星辐射机制；阐释特殊中子星在天体物理过程中的作用；搭建数值相对论平台模拟中子星相关物理过程。

考核指标：评估 SKA1 脉冲星计时在检验引力理论和测量中子星物态方面的精度；构建脉冲星磁层辐射基本模型，预估 SKA1 的观测对现有磁层模型和模型参数的限制；基于包括射电在内的多波段、多信使观测数据，给出磁星等特殊中子星在若干天体物理过程中的作用以及磁星周期跃变机制的理论解释，并对中子星的物态和结构模型给出限制；搭

建中子星数值相对论平台，完成中子星/夸克星并合的模拟，给出中子星双星和夸克星双星并合事件的多信使模拟观测特征比较；形成一支 16 人以上掌握脉冲星理论研究的科研人才团队。

有关说明：由北京大学作为项目牵头单位申报。