

附件 2

“引力波探测”重点专项 2020 年度 项目申报指南

“引力波探测”重点专项的总体目标是面向引力波研究发展前沿，围绕引力波探测研究的重大科学问题和瓶颈技术，全面布局阿赫兹到飞赫兹频段、纳赫兹频段和毫赫兹频段等引力波探测研究任务，大力提升我国引力波探测研究的创新能力，培养并形成一支高水平的研究队伍。

2020 年，本重点专项拟优先支持 17 个研究方向，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。国拨经费总概算 4 亿元。

申报单位根据指南支持方向，面向解决重大科学问题和突破关键技术进行设计。鼓励依托国家重点实验室等重要科研基地组织项目。项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部考核指标。项目执行期一般为 5 年。一般项目下设课题数原则上不超过 4 个，每个项目所含单位数不超过 6 家。

1. 空间引力波探测

1.1 星间激光干涉测量系统分析与设计

研究内容：星间激光干涉测量系统方案；星间激光干涉测量

系统在轨实验和评估方案；星间激光干涉测量系统总体设计与仿真，包括系统设计、噪声模型分析、系统全功能数值仿真等。

考核指标：提出满足空间引力波探测需求的星间激光干涉测量系统总体方案，建立星间激光干涉测量系统总体指标体系；提出星间激光干涉测量系统在轨实验和评估方案；建立星间激光干涉测量系统总体设计与仿真系统，在 1mHz~0.1Hz 频段范围内系统设计和仿真评估的位移测量噪声都小于 $10\text{pm}/\text{Hz}^{1/2}$ 。

1.2 星间激光干涉仪设计与研制

研究内容：超稳星载激光干涉仪设计方案、研制与性能测试。研制技术与测试内容包括一体化粘结技术、光轴空间精密定位与光学元器件多自由度调装定位技术、纳弧度/皮米级多自由度平动/转动位移光学测量技术等。

考核指标：完成一体化超稳干涉仪的设计方案；研制出一体化超稳干涉仪光学平台，通过典型力学和热循环卫星环境模拟试验，光束位移定位精度优于 $30\mu\text{m}$ 、角度定位精度优于 $30\mu\text{rad}$ ；建立高精度激光干涉仪的地面性能测试系统，在 1mHz~0.1Hz 频段范围内干涉仪的位移测量噪声小于 $10\text{pm}/\text{Hz}^{1/2}$ ，角度测量噪声小于 $10\text{nrad}/\text{Hz}^{1/2}$ 。

1.3 星载高功率窄线宽种子激光器

研究内容：星载高功率激光器系统集成与性能测试方案论证；窄线宽种子激光器的研制与测试，包括种子激光器及其温控与噪声抑制单元、相位调制单元、光机热耦合效应与星载模块化封装

技术等。

考核指标：建立星载激光器数值仿真模型；研制出满足空间应用需求的种子激光器，通过典型力学和热循环卫星环境模拟试验，波长范围 1060-1068nm，光纤耦合连续输出功率大于 50 mW，线宽小于 2kHz，频率漂移小于 1MHz/分钟。

1.4 星载激光功率放大器

研究内容：星载高功率低噪声激光功率放大器研制与测试，包括符合星载需求的连续输出激光功率放大器、相关元器件温度控制与噪声抑制、星载模块化封装技术等。

考核指标：研制出满足空间应用需求的星载激光功率放大器，通过典型力学和热循环卫星环境模拟试验，波长范围 1060-1068nm，激光功率放大后连续输出功率不小于 2W，0.1Hz 处功率稳定性不超过 $0.1\%/Hz^{1/2}$ ，激光功率放大器的附加线宽不大于 50 Hz。

1.5 超高精度惯性传感器设计与测试方法

研究内容：惯性传感器的扰动力分析和系统指标体系；惯性传感器在轨功能和性能的测试与评估方案；高精度惯性传感器地面测试方法。

考核指标：提出满足空间引力波探测需求的惯性传感器设计方案，建立惯性传感器的系统指标体系；提出惯性传感器在轨功能和性能的测试与评估方案；发展惯性传感器地面测试方法，要求在 1mHz~0.1Hz 频段内测量水平达到 $10^{-15} \text{ m/s}^2/\text{Hz}^{1/2}$ 。

1.6 超高精度惯性传感器测试与评估技术

研究内容：高精度惯性传感器地面测试技术和系统研制；惯性传感器扰动力测试和评估，测试和评估包括残余气体分子与宇宙射线粒子碰撞、温度及其梯度、电磁场、航天器梯度耦合等。

考核指标：建立高精度惯性传感器地面测试平台，要求在1mHz~0.1Hz频段内测试水平不超过 $1 \times 10^{-14} \text{m/s}^2/\text{Hz}^{1/2}$ ；完成温度、电场、磁场、残余气体、航天器引力等影响测试，每一项扰动影响的测试与评估水平在1mHz~0.1Hz频段内达到 $10^{-15} \text{m/s}^2/\text{Hz}^{1/2}$ 量级。

1.7 高精度位移传感方法与技术

研究内容：满足空间引力波探测需求的高精度六自由度位移传感方法；高精度六自由度位移传感技术，包括高稳定载波产生技术、载波信号注入技术、大动态范围位移传感技术、位移传感耦合分析与抑制技术和传感器研制等；高精度位移传感标定、测试及评估技术等。

考核指标：发展满足空间引力波探测需求的高精度位移传感方法，提出高精度六自由度位移测量方案；研制出高精度位移传感器，性能要求在1mHz~0.1Hz频段内电容分辨率优于 $1 \times 10^{-6} \text{pF}/\text{Hz}^{1/2}$ ，位移分辨率优于 $2 \text{nm}/\text{Hz}^{1/2}$ ，位移传感引入的加速度扰动小于 $1 \times 10^{-15} \text{m/s}^2/\text{Hz}^{1/2}$ ；发展电容位移传感与标定技术，位移传感标定精度优于 $0.5 \text{nm}/\text{Hz}^{1/2}$ 。

1.8 惯性传感器控制方法与技术

研究内容：满足空间引力波探测需求的检验质量多自由度控

制方法；低噪声、多自由度控制技术，包括交流静电控制技术、多自由度控制技术、自由度耦合分析与噪声抑制技术、静电控制测试技术等。

考核指标：提出满足空间引力波探测需求的低噪声、多自由度惯性传感器的控制方案；发展低噪声、多自由度惯性传感器的控制技术，性能要求在 1mHz~0.1Hz 频段内电压噪声小于 $10\mu\text{V}/\text{Hz}^{1/2}$ ，对敏感轴的耦合加速度扰动小于 $1\times 10^{-15}\text{m}/\text{s}^2/\text{Hz}^{1/2}$ 。

1.9 空间引力波探测航天器的系统构建技术

研究内容：航天器系统全链路误差与噪声模型，大空间尺度航天器系统指标体系；深空大尺度分布式系统天地协同管控技术；多手段联合轨道测量及基于多源数据融合的高精度轨道确定技术等。

考核指标：建立全链路系统误差与噪声模型，提出空间引力波探测航天器系统的完备指标体系；发展大尺度分布式航天器天地协同管理与任务调度系统；确定空间引力波探测航天器跟踪测量与确定方案。

1.10 基于精密反馈控制的微牛级推进技术

研究内容：微推进系统设计与仿真，微推进系统的精密反馈控制技术，微牛级连续可调微推进系统样机研制和地面验证，实现微推进系统基于微波、电压、流量等精密反馈控制方式的可调可控。

考核指标为：提出不少于两种、基于精密反馈控制的微牛级推进器方案，研制出满足空间应用的推进系统，通过典型力学和热循环卫星环境模拟试验，推力器性能要求推力覆盖范围为

5~50 μ N，推力响应时间小于 50ms，分辨率不大于 0.1 μ N，噪声小于 0.1 μ N/Hz^{1/2}，设计寿命不小于 1 万小时。

1.11 基于气体工质的微牛级推进技术

研究内容：微牛级连续可调微推进系统方案设计与仿真分析，微推进系统功能、性能和寿命优化，高精度、低噪声与快响应微推力精密控制技术，基于气体工质的高精度微流量控制或等离子体控制的微推进系统样机研制和地面验证。

考核指标：提出不少于两种基于气体工质的微牛级推进器方案，研制出满足空间应用的推进系统，通过典型力学和热循环卫星环境模拟试验，推力器性能要求推力覆盖范围为 5~50 μ N，推力响应时间小于 50ms，分辨率不大于 0.1 μ N，噪声小于 0.1 μ N/Hz^{1/2}，设计寿命不小于 1 万小时。

1.12 航天器轨道与构形的设计与优化技术

研究内容：空间环境分析以及对空间引力波探测任务影响的评估；航天器科学轨道和星座构形的设计与优化研究；航天器系统的发射、转移、构形初始化等全周期轨道设计与优化。

考核指标：给出空间引力摄动、磁场、等离子体、热环境、粒子辐射等影响分析报告；建立空间引力波航天器轨道和星座构形的优化设计模型；提出满足空间引力波需求的轨道方案及星座构形保持方案，发展全周期轨道及构形优化模型。

1.13 空间引力波探测编队系统数值仿真

研究内容：空间引力波探测系统建模研究，空间引力波探测

系统全链路动态仿真研究，空间引力波探测的科学运行设计、仿真与优化研究。

考核指标：发展满足空间引力波探测需求的系统仿真方法，建立空间引力波探测编队系统的数值仿真平台，完成空间引力波探测全链路动态仿真分析，确定系统级指标体系，给出空间引力波探测的科学运行方案。

1.14 引力波致密天体波源物理研究

研究内容：双黑洞和双致密星的起源、演化和并合及其相关物理性质；黑洞坍塌和引力波回声；致密双星的随机引力波背景性质。

考核指标：发展致密天体研究的新方法，完成空间引力波探测致密天体波源的物理特性、主要波源分布及演化历史等分析。

1.15 引力波宇宙学波源物理研究

研究内容：宇宙原初黑洞的形成机制，演化及观测特征；宇宙相变和诱导引力波产生机制及观测效应；引力波作为宇宙演化探针、检验引力理论、理解引力本质的研究。

考核指标：发展引力波及相关基础物理研究的新方法和新理论，完成宇宙学起源的空间引力波波源的物理性质、观测特性和检验引力理论的研究。

2. 原初引力波探测

2.1 原初引力波望远镜标定和数据分析系统

研究内容：原初引力波望远镜近场、远场标定系统、傅立叶变换频谱仪（FTS）标定系统以及光学效率标定系统；望远镜仿真

模拟系统和实测数据分析研究。

考核指标：建立原初引力波望远镜需求的近、远场标定系统，性能要求频谱范围涵盖 75 GHz~300 GHz，分辨率不超过 2 GHz，方向束标定动态范围不低于 60 dB；建立原初引力波探测所需的模拟和科学计算平台，完成高时效性数据分析和计算软件，模拟效率应不低于一观测日/天，完整模拟数据量至少达到一个观测季。

2.2 原初引力波望远镜室温电子学系统

研究内容：原初引力波望远镜千量级超导转变边沿探测器 (TES) 阵列微波信号室温电子学读出系统以及读出噪声机制；望远镜运行、观测所需的控制系统设计。

考核指标：研制出望远镜读出系统，性能要求实现千量级探测器阵列（总探测器数量为万量级）读出，与低温读出系统兼容，单通道采样率达到 100 Hz，完成望远镜控制系统设计。