

“引力波探测”重点专项 2023 年度 项目申报指南

（征求意见稿）

“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。

2023 年度指南围绕空间引力波探测、原初引力波探测等 2 个重点任务进行部署，拟支持 11 个项目，国拨经费总概算 2.85 亿元。同时，拟支持 3 个青年科学家项目，拟安排国拨经费概算 1500 万元，每个项目 500 万元。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的指南方向申报。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。项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部研究内容。项目执行期一般为 5 年。项目下设课题数不超过 4 个，每个项目参与单位总数不超过 6 家。项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

指南方向 1.9 和 1.10 是青年科学家项目，其中 1.9 支持 2 项，1.10 支持 1 项，支持青年科研人员（男性 35 周岁以下，女性 38 周岁以下）承担国家科研任务。青年科学家项目不

再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。项目设 1 名负责人，原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

1. 空间引力波探测

1.1 星载超稳时钟研制与测试研究

研究内容：空间引力波探测的超稳时钟需求分析，星载超稳时钟研制技术，包括超稳时频物理源及超稳时频信号提取技术、超稳时频分发电路研制技术、超稳时频系统样机研制与集成技术等，超稳时钟系统的性能测试与验证。

考核指标：完成空间引力波探测的超稳时钟需求分析报告，研制出星载超稳时钟样机，要求具备空间应用小体积、轻量化和低功耗等需求，体积不超过 4 升，质量不超过 4 千克，功耗不大于 15 瓦，通过卫星典型力、热环境模拟试验，时钟频率的艾伦方差不大于 $2 \times 10^{-13}@1$ 秒和 $2 \times 10^{-13}@1000$ 秒，长期稳定性不大于 $7 \times 10^{-13}/\text{天}$ 。

1.2 星间激光测距与通信技术研究

研究内容：星间高精度测距和通信一体化研制方案，基于伪随机编码激光调制/光梳的绝对距离测量技术，星间激光通信技术，星间的高精度时钟同步与比对技术，弱光条件下的星间高精度测距和通信一体化技术与仿真验证。

考核指标：完成星间绝对距离测量和通信一体化的研究方案设计，研制出星间高精度测距与通信一体化的信号处理样机，建立星间绝对距离测量和通信的地面演示系统，1nW

以下接收功率条件下，激光通信实现的等效星间距不小于 10km，绝对测距精度不大于 1 米，星间时钟同步精度优于 3 纳秒，星间通信能力不低于 20kbps，星间激光通信对星间激光干涉位移测量的影响小于 $1\text{pm}/\text{Hz}^{1/2}$ ，频段 $1\text{mHz}\sim 0.1\text{Hz}$ 。

1.3 锁紧与释放技术的地面检测研究

研究内容：检验质量锁紧与释放的在轨控制策略与方案研究，锁紧与释放方案的地面检测装置研制，检验质量锁紧与释放在轨控制方案的地面验证与评估研究。

考核指标：提交满足空间应用需求的锁紧与释放方案，该方案能兼顾在轨不同工况，且具备重复捕获与释放功能，释放对检验质量的冲量不超过 $1\times 10^{-5}\text{kg m/s}$ ，冲量矩不超过 $5\times 10^{-8}\text{kg m}^2/\text{s}$ 。研制出检验质量锁紧与释放方案的地面检测装置，并完成检验质量锁紧与释放在轨控制方案的地面验证，对检验质量释放冲量的检测水平优于 $2\times 10^{-6}\text{kg m/s}$ ，释放冲量矩的检测水平优于 $1\times 10^{-8}\text{kg m}^2/\text{s}$ 。

1.4 惯性传感器的真空维持技术研究

研究内容：惯性传感器残余气体影响分析，空间引力波探测中的惯性传感器在轨真空实现方案，超低功耗真空维持与验证技术，磁场屏蔽需求分析与真空腔一体化实现技术，太空连接真空维持方案与研制技术，检验质量到真空装置的坐标基准传递技术。

考核指标：研制出空间引力波探测需求的真空维持装置

样机，通过卫星典型力、热环境模拟试验，满足激光干涉测量、电荷管理、锁紧与释放等需求，真空维持稳定性优于 $1 \times 10^{-5} \text{Pa}$ ，可靠工作时间 2 年以上，具备太空打开功能且真空度优于 $1 \times 10^{-5} \text{Pa}$ ，电荷管理光纤输入接口不少于 3 个，接口信号衰减小于 3dB，电信号导入接口不少于 30 路，不同接口通道串扰小于 -100dB，激光透射窗口 2 个，窗口对激光干涉位移测量的影响小于 $1 \text{pm}/\text{Hz}^{1/2}$ ，真空腔中心磁场涨落控制小于 $1 \times 10^{-7} \text{T}/\text{Hz}^{1/2}$ ，检验质量到真空装置坐标系传递的位置误差不大于 $50 \mu\text{m}$ ，角度误差不大于 $50 \mu\text{rad}$ 。

1.5 检验质量与激光干涉仪的耦合效应测试与评估技术研究

研究内容：惯性传感器中检验质量与激光干涉仪的耦合物理效应分析，用于检验质量位移测量的星内激光干涉测量技术，检验质量与激光干涉仪的耦合测试与评估技术，包括激光光强及其涨落对惯性传感器的影响测试与评估，检验质量运动（含姿态）对激光测距精度的影响测试与评估等。

考核指标：完成检验质量与激光干涉仪的耦合效应分析报告，研制对检验质量位移进行测量的星内激光干涉测量系统，位移测量分辨率达到 $10 \text{pm}/\text{Hz}^{1/2}$ 量级，建立惯性传感器与激光干涉仪的耦合效应测试与评估装置，光强为 $100 \mu\text{W}$ 的条件下，激光光强涨落对检验质量产生的扰动加速度评估水平小于 $1 \times 10^{-15} \text{m}/\text{s}^2/\text{Hz}^{1/2}$ ，检验质量运动和姿态变化对激光干

涉位移测量噪声验证水平小于 $1\text{pm}/\text{Hz}^{1/2}$, 频率范围为 $1\text{mHz}\sim 0.1\text{Hz}$ 。

1.6 航天器在轨质心/压心/自引力中心检测与调整技术研究

研究内容: 航天器质心/压心/自引力中心(简称“三心”)的测量与评估需求分析, 航天器“三心”在轨检测和调整方案研究, 航天器“三心”在轨检测技术, 星载质心高精度调整样机研制, 航天器“三心”检测和调整的地面半物理仿真系统研制, 地面性能检测与验证研究。

考核指标: 完成超精超稳航天器在轨“三心”的检测报告, 航天器在轨“三心”的检测与调整方案, 研制出星载质心调整样机, 通过卫星典型力、热环境模拟试验, 500kg 左右航天器的等效质心调整范围达到 1mm , 整星质心调整分辨率小于 $5\mu\text{m}$, 研制出航天器“三心”测量与调整地面检测装置, “三心”检测分辨率小于 $1\mu\text{m}$, 调整分辨率小于 $5\mu\text{m}$ 。

1.7 超静超稳航天器精密装调与综合测试技术研究

研究内容: 高精度引力波探测航天器整机精密装配需求分析, 航天器平台与科学载荷的耦合效应分析和一体化设计, 超静超稳航天器整机精密装配技术, 包括航天器剩磁测量与控制技术、整星超稳结构稳定性测试技术、温度精确测量和标定技术、高精度科学载荷的精密装调技术等, 超静超稳航天器精密装调的地面模拟、测试与验证。

考核指标：完成高精度引力波探测航天器整机精密装配需求分析报告，完成航天器平台与科学载荷的一体化方案设计，建成高精度航天器精密装调和地面综合验证平台，具备超静超稳航天器精密装调与综合测试的能力，检验质量的剩磁矩测量分辨率小于 $1 \times 10^{-9} \text{Am}^2$ ，整星的磁场强度测量分辨率小于 $1 \times 10^{-9} \text{T}$ ，质心配准小于 0.1mm ，载荷安装线位置误差小于 $1 \mu\text{m}$ ，载荷安装角位置误差小于 1 角秒，温度测量与标定精度小于 10^{-3}K 。

1.8 空间引力波探测信号仿真、处理与验证技术研究

研究内容：银河系双致密星的引力波信号的仿真、处理与验证，双黑洞系统引力波信号的仿真、处理与验证，极端质量比旋近系统引力波信号的仿真、处理与验证，随机引力波背景及潜在引力波源信号的仿真、处理与验证，引力波信号全局搜索技术及波源参数反演精度等。

考核指标：研发出空间引力波探测数据处理软件系统，同时满足地心轨道和日心轨道任务的需求，包含对双致密星、双黑洞系统、极端质量比旋近系统、随机引力波背景等空间主要引力波源信号的仿真与处理，具备引力波信号全局搜索、波源参数反演的能力，完成以上模拟波源的处理能力验证。

1.9 时钟频率噪声消除技术研究（青年科学家项目）

研究内容：星间激光干涉测量系统中时钟频率不稳定性

噪声耦合机理分析、数值建模与实验验证，时钟不稳定性耦合噪声的抑制方案、可行性分析与实验检验。

考核指标：完成时钟不稳定性耦合噪声抑制的方案设计和指标分解，开展时钟不稳定性耦合噪声抑制的实验验证，对频率为 20MHz 的差频信号，经过数据处理后时钟引起的相位误差小于 $2\pi \times 10^{-6} \text{rad/Hz}^{1/2}$ ，频段 1mHz~0.1Hz。

1.10 航天器自引力效应分析与补偿研究(青年科学家项目)

研究内容：航天器自引力效应分析研究，航天器自引力补偿需求分析，航天器自引力补偿方案研究，航天器自引力效应补偿的半物理仿真研究。

考核指标：完成航天器自引力效应分析报告，航天器自引力补偿需求分析报告，航天器自引力补偿方案报告，航天器自引力效应补偿半物理仿真平台，要求航天器自引力效应对检验质量扰动加速度小于 $1 \times 10^{-15} \text{m/s}^2/\text{Hz}^{1/2}$ ，频段 1mHz~0.1Hz。

2. 原初引力波探测

2.1 原初引力波望远镜智能数据传输与运行监控系统研制

研究内容：研制面向万量级焦平面探测器原初引力波望远镜的智能数据管理与传输、数据保障与反馈、远程运行监

控、数据安全及先进网络系统，研制适用于高海拔环境的“存、算、传”一体机系统。

考核指标：完成专用数据传输与运行监控系统的研制，实现数据管理与传输、远程监控、数据质量检验功能，具备日数据传输量大于 1TB 的实验数据高可靠运行能力，运行故障报警时间小于 2 分钟，研制出适用于大气稀薄、气压低、海拔 5000 米以上台站的“存、算、传”一体机系统。

2.2 原初引力波望远镜接收机万量级探测器焦平面系统研制

研究内容：中心频率为 90GHz 和 150GHz 的原初引力波望远镜万量级探测器焦平面系统研制，包括宽带喇叭天线阵列、双极化超导转变边缘 TES 探测器阵列和微波复用读出芯片阵列等的集成。

考核指标：研制出与目前我国原初引力波望远镜技术兼容的焦平面系统，TES 探测器转变温度范围 400-500mK，90GHz 频段饱和功率中值范围 7-12pW，150GHz 频段饱和功率中值范围 12-18pW，焦平面探测器阵列本征噪声中值小于 $5 \times 10^{-17} \text{ W/Hz}^{1/2}$ ，微波复用读出芯片等集成后系统的探测器通道总数不少于 10000。

2.3 原初引力波望远镜万量级探测器低温读出系统研制

研究内容：开展适用于原初引力波望远镜超导转变边缘探测器（TES）低温复用读出系统的研究，包括微波复用芯片、低温读出链路、模块化集成研制技术等。

考核指标：单模块低温微波读出复用比不低于 200:1，读出总能力不低于 10000 探测器通道，谐振器频点 4-8GHz，低温读出链路通道噪声中值低于 $80\text{pA/Hz}^{1/2}$ ，通道间串扰低于 1%。

浙江大学 A00097