

# 量子计量技术与仪器北京市重点实验室 2026 年度开放课题申报指南

## 1. 课题名称：基于全光反馈的原子磁传感器控制技术

### 研究内容：

原子磁传感器是目前航空磁探测系统的核心传感器，在水下目标探测、地磁导航、航空物探等领域有广泛应用。现有激光光源通常依赖 TEC 和热敏电阻实现温控，其控制较为复杂，且易引入剩磁干扰，导致磁传感器噪声水平、转向差偏大。针对该技术瓶颈问题，课题拟开展基于全光反馈的原子磁传感器技术研究，研制一套全光反馈的原子磁传感器控制技术，无需 TEC 和热敏电阻，通过对传感器光电信号幅度、相位等信号的解耦即可同时实现 VCSEL 激光频率、功率稳定及原子气室温度控制，为提高传感器噪声水平、降低探头转向差提供核心技术支撑。

### 技术指标：

- 1) 无磁 VCSEL 光源剩磁： $\leq 0.5$  nT；
- 2) 光源驱动电流噪声：优于  $20$  nA $\sqrt{\text{Hz}}$  @1Hz；
- 3) 控制稳定性：光频率 25 MHz/h ( $1\sigma$ )，光功率  $0.2$   $\mu\text{W/h}$  ( $1\sigma$ )。

### 成果形式：

- 1) 研究报告 1 份；
- 2) 学术论文 2 篇；
- 3) 研制一套基于全光反馈的小型化铯原子磁传感器控制电路。

## 2. 原子重力仪拉曼光自动锁相技术研究

**研究内容：** 地球表面重力加速度会随着时间和地点变化，对其进行高精度测量在资源勘探、大地测量、惯性导航等领域具有重要应用价值。原子重力仪基于原子干涉技术对重力仪加速进行绝对测量，干涉过程需要由光学锁相环技术产生稳定相位的拉曼光保证准确的原子内态操控。目前重力仪逐渐走向舰载、机载等应

用场景，面向非专业技能的使用人员，其复杂工况对锁相系统的稳定性、易用性提出更高要求。本项目面对多工况的原子重力仪的稳定运行与维护需求，建立一套拉曼光自动锁相系统，实现无需工程师介入下，开机后在大频率捕捉范围内的一键锁定，并实现失锁后自动重锁，保证系统的长期稳定运行。主要包括：  
1、激光器工作点自动优化：自动扫描激光器频率并评估无跳模范围，实现中心频率对准所需频率并保证最优无跳模范围；  
2、双锁相环路自动锁定：结合倍频式锁相环和外差式锁相环，利用倍频式锁相环大捕捉范围特性抑制激光器长漂并监视锁定状态，外差式锁相环保证高相位噪声水平。

#### **技术指标：**

- 1) 拉曼光自动锁相系统频率捕捉范围优于 5 GHz；
- 2) 拉曼光自动锁相系统 100 Hz - 100 kHz 频偏相位噪声优于-90 dBc；

#### **成果形式：**

- 1) 建立一套原子重力仪拉曼光自动锁相系统；
- 2) 研究报告 1 份；
- 3) 发表学术论文 1 篇。

### **3. 光频梳远程自动锁定系统关键技术及验证**

**研究内容：**时间频率计量、精密测距、精密光谱测量等领域对光频梳需求的日益增长推动了对光频梳连续运转时间、抗干扰能力及可靠性等指标的更高要求。传统的光频梳在外界环境变化后偶发因素干扰的情况下，会导致系统失锁，从而对后续应用带来不确定影响。通过对光频梳锁模诊断、锁相环失锁判定及自动回锁，有助于光频梳系统在无人值守的条件下保持连续可靠运转。本项目基于此，开展光频梳远程自动锁定系统关键技术及验证，主要包括光频梳锁模状态的识别与失锁自动锁定技术验证，光频梳重复频率、载波包络偏移频率的识别与失锁自动锁定技术验证，光频梳的远程控制和自动锁定等。

#### **技术指标：**

- 1) 光频梳失锁判定时间：<30 s；
- 2) 光频梳锁模自动回锁时间：<1 min；
- 3) 频梳锁模自动回锁时间：<5 min。

**成果形式:**

- 1) 验证系统 1 套;
- 2) 研究报告 1 份;
- 3) 投稿/发表学术论文不少于 1 篇。