

# “物态调控”重点专项 2025 年度项目申报指南

## （征求意见稿）

“物态调控”重点专项的总体目标是通过重点专项支持，在物理规范、新奇物态、调控方法、探测手段等方面取得重要创新，在拓扑超导、低维材料等前沿方向实现结构设计、材料制备、原型器件的重大突破，催生更多引领国际前沿的重大原创性成果。同时，面向国家战略需求发展基于新物态的新技术，发展新型功能器件，为推动新兴产业发展、践行自主创新奠定基础。

2025 年度指南围绕电子物态调控、拓扑物态调控、人工微结构物态调控等 3 个重点任务进行部署，拟支持 9 个常规项目，国拨经费总概算 1.31 亿元，每个项目概算参考数 1400~1500 万元；拟支持 5 个青年科学家项目，国拨经费总概算 2000 万元，每个项目 400 万元。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的指南方向申报。每个指南任务原则上支持 1 项（有特殊说明的除外）。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。项目执行期一般为 5 年。

常规项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部研究内容。常规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 5 家。项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

本指南所有方向均可作为青年科学家项目组织申报，鼓励拓扑物态调控方向的探索性研究，优先支持液氮温区量子反常霍尔效应、磁性和关联体系中的拓扑效应、高阶拓扑效应等方面的研究，以推动发展基于拓扑物性的器件、建立材料数据库和拓扑电子学框架。青年科学家项目不受研究内容和考核指标限制，不再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。青年科学家项目设 1 名负责人，负责人年龄男性 38 周岁以下（1987 年 1 月 1 日以后出生），女性 40 周岁以下（1985 年 1 月 1 日以后出生）。原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

## 1. 电子物态调控

### 1.1 二维反铁磁体系的电学调控及低功耗器件

**研究内容：**针对研发大容量、低功耗新一代电子器件的挑战，发展电学调控二维反铁磁自旋物态的理论方法和模型，实验构筑二维长程反铁磁体系；发展低阈值电流及电场调控反铁磁相变的实验方法，实现多自旋阻态存储；研制二维全反铁磁自旋阀、自旋场效应晶体管等原理器件，实现电学操控的自旋逻辑操作。

**考核指标：**发展出电学调控二维反铁磁自旋物态的新方法，并实现电场或低阈值电流（电流密度小于  $10^5 \text{ A/cm}^2$ ）对

范德瓦尔斯界面反铁磁体系和拓扑反铁磁体系自旋物态的调控；研制出不少于 2 种二维全反铁磁的自旋电子学原型器件，实现电学写入的多自旋阻态存储，阻态数不少于 5，自旋逻辑操作开关比大于 100%。

**关键词：** 二维反铁磁、电学调控、范德瓦尔斯界面、拓扑磁结构、自旋电子学器件

### 1.2 氧化物异质结中磁子传输机制及原型器件

**研究内容：** 面向后摩尔时代信息技术发展的需求，寻找自旋量子态的高效操控方案。利用氧化物材料中自旋、电荷、轨道、晶格多自由度及强关联特性，构建电场可调磁子异质结体系；开发具有大磁电耦合系数材料，探究磁电耦合对磁子传输机制的影响；通过精准调控异质结界面，提高磁子转换效率；探索电场对磁子传输的调控机制，研制全氧化物异质结的磁子原型器件。

**考核指标：** 实现不少于 3 种具有高线性磁电耦合系数(大于 500 ps/m)的材料体系；实现磁子矩对自旋的无磁场翻转，研制出全氧化物磁子原型器件；电场调控磁子传输效率不低于 20%，调控电流密度小于  $5 \times 10^6$  A/cm<sup>2</sup>。

**关键词：** 磁电耦合、传输机制、氧化物异质结、磁子原型器件

### 1.3 交错磁性材料中的新奇物性与超快探测

**研究内容：** 针对交错磁性材料稀缺的现状，预言并制备

新型交错磁性材料；探索交错磁序诱导的光电、输运、非线性等物性，以及与磁序相关的多自由度耦合机制；开发结合低温、强磁场、强太赫兹光场、高空间分辨的超快技术，实现对交错磁序的超快探测与磁畴成像；揭示交错磁体中的多场协同调控新规律，设计并构筑基于交错磁性材料的电子学原理器件。

**考核指标：**预言并合成不少于 3 种高质量的交错磁性材料；预测并实现不少于 2 种基于交错磁性材料多自由度耦合的新效应和新奇物性；研制集成 7 T 超导磁铁、温度低于 3 K、光场强度高于 500 kV/cm 的太赫兹超快技术，实现对交错磁序的 70 fs 超快探测和 5  $\mu\text{m}$  磁畴成像；设计并构筑不少于 2 种基于交错磁性材料的电子学原理器件。

**关键词：**交错磁性、多自由度耦合、光电响应、超快调控、多场协同

## 2. 拓扑物态调控

### 2.1 磁性材料基态构型、集体激发及拓扑物态研究

**研究内容：**针对磁性材料中新体系与新物性探索及调控的需求，发展高效判断磁性材料磁构型的方法，构建磁性材料磁结构数据库，完善磁性拓扑材料筛选方案；建立完备的拓扑磁子与手性磁子理论，探索温度场、磁场、压力场和电场等对磁子运动的调控规律；拓展拓扑磁子的理论到手性声子，并通过设计声学超构材料对其进行实验观测，探索磁子

与声子相互作用诱导的新奇现象。

**考核指标:** 发展出高效判断磁性材料磁构型的软件包、建成磁性材料磁结构数据库、发现不少于 5 种新型磁性拓扑材料体系, 实验确定其磁结构及多场调控微观参数; 预言不少于 3 种新奇磁子效应及相应磁性材料体系, 利用磁子态的输运特性设计不少于 3 种新型磁子信息原型器件; 发现手性声子拓扑态, 并通过声学超材料实现实验观测; 发展 1 套系统化的计算程序用于研究磁子-声子耦合下的量子输运。

**关键词:** 磁性拓扑材料、磁结构、磁子拓扑与输运、手性声子

## 2.2 极低温下的拓扑量子物态调控

**研究内容:** 针对拓扑物态研究对极低温的需求, 开发大功率稀释制冷机与极低温电子冷却技术; 发展表面电子探测技术, 在亚毫开下探索超流氦-3 量子液体中马约拉纳费米子的低能态, 并阐明马约拉纳费米子的特性; 基于时域单发测控和宇称读取技术, 在极低温下研究人工 Kitaev 链等拓扑量子系统中马约拉纳零能模存在的参数空间, 探索拓扑量子比特的构筑、编织与读取。

**考核指标:** 研制大冷量稀释制冷机, 最低温度达到 10 mK, 100 mK 制冷功率达到 1.5 mW; 在零压零磁场下, 获得低于 0.35 mK 的超流氦-3, 并基于表面电子探测马约拉纳费米子; 构筑出包含 4 个以上量子点的人工 Kitaev 链, 并开发出单发

宇称探测技术。

关键词：拓扑量子物态、超流氦-3、马约拉纳费米子、人工 Kitaev 链、准粒子中毒时间、单发宇称测量

### 2.3 手性关联物态及其调控

**研究内容：**针对晶格与磁结构的手性及其与电子行为的相互影响，探索多自由度耦合条件下的手性关联物态和拓扑物态；采用先进的谱学和散射技术精准表征晶格和电子的手性基态和元激发，探究手性与电子关联的内在联系；通过磁场、超快光场、压力等调控手段，有效操控晶格构型和磁结构的手性特征，构建多体理论理解手性与关联物态的联系和相关调控机理。

**考核指标：**发现不少于 2 种具有显著手性特征的新型关联物态；实现对不少于 2 类手性元激发的联合实验观测，能量分辨率优于元激发能量 10%，手性观测衬度大于 40%；实现对至少 1 种手性元激发和 1 种手性关联物态的调控。

关键词：手性、关联物态、谱学测量、外场调控

## 3. 人工微结构物态调控

### 3.1 面向量子增强测量的多原子新奇物态制备与调控

**研究内容：**针对突破经典精度极限及长波电场高灵敏探测等需求，发展多体物态制备与调控的新方法，提升双参数同步测量精度；构建具有单原子数分辨能力的原子凝聚体平台，研究多原子纠缠物态的制备和应用，演示自旋纠缠态的

线性、非线性干涉与读取；通过调控里德堡时间晶体，自动优化探测条件，研究长波电场的高灵敏与无参考场的相敏测量。

**考核指标：**提出不少于 2 种具有测量精度量子增强的多体物态制备方法，其中不少于 1 种适用于双参数同步测量；实现原子数大于 1000 的玻色凝聚体自旋纠缠态，单参数测量突破经典精度极限优于 10 dB，双参数同步测量突破经典精度极限优于 5 dB；实现对长波 kHz 频段电场的高灵敏相敏测量，灵敏度优于  $1 \mu\text{V}/\text{cm}/\text{Hz}^{1/2}$ 。

**关键词：**单粒子数分辨、多体纠缠、电场测量、经典精度极限

### 3.2 超高电光系数薄膜微结构光场调控及应用

**研究内容：**面向带宽更大、功耗更低、速率更高的下一代光信息技术研发需求，发展超高电光系数薄膜晶圆材料及微纳光子结构的制备方法；研究薄膜材料铁电畴壁迁移机制，明晰电光系数与微观结构的构效关系；发展超快光场与薄膜相互作用动力学过程的精密测量与调控方法，制备高品质微纳光子结构；研究片上微波与光波高效耦合效应，研制超低功耗高速电光调制器和宽带高功率电光频梳。

**考核指标：**实现超高电光系数薄膜外延生长制备，支持 6 英寸标准晶圆，电光系数  $\geq 150 \text{ pm}/\text{V}$ ；实现超快光场与薄膜相互作用过程单次多幅原位观测，成像序列深度  $\geq 200$  帧，

成像帧率  $\geq 2 \times 10^{11}$  帧/秒；纳米光波导通信波段传输损耗  $\leq 1$  dB/cm，微腔品质因子  $\geq 10^6$ ；电光调制器速率  $\geq 100$  GHz，调制效率  $V_{\pi}L \leq 0.6$  V·cm；电光频梳 10 dB 带宽内梳齿数  $\geq 30$  根，单梳齿功率  $\geq 1$  mW。

**关键词：**薄膜材料、微纳光子结构、电光效应、光场调控、超快成像、调制器、频率梳

### 3.3 自驱动光子学复杂体系的非平衡物态调控研究

**研究内容：**针对人工微纳结构调控复杂光场在能耗、可控性等方面存在的瓶颈问题，探索光学自驱动效应对光子学复杂体系的非平衡物态调控；研究光场非线性相互作用对称破缺激发的自驱动效应，重点发掘光学非线性的非厄密特性，研究光学自驱动效应主导的多体光场集体动力学行为；研制非线性响应可调的光电器件，实现复杂光场的低能耗、可控构建。

**考核指标：**构建不少于 3 种具有可重构光学自驱动效应的非平衡光子学复杂体系；建立非厄密光学非线性的可重构理论，发现不少于 3 种光学自驱动效应引发的新奇非平衡物态；实现基于电调制调控光学非线性响应类型（不少于 6 种）的原理性器件（可重构响应时间  $\leq 50$  ns），实现能量利用率不低于 90% 的自弯曲、自振荡、自旋转等可控的复杂光场等。

**关键词：**光子学复杂体系、光学自驱动、光学非线性、非厄密、非平衡