

## 附件

# “战略性科技创新合作”

## 重点专项联合研发与示范项目申报指南

(仅国家科技管理信息系统注册用户登录可见)

### 一、总体目标和安排

当今世界正处于百年未有之大变局，全球范围内新一轮科技革命和产业变革加速演进，世界各国既要共享科技全球化深入发展的机遇，也要共同面临应对气候变化、实现全球碳中和愿景、共同培育全球发展新动能、推动世界经济复苏等一系列全球性挑战。为推动科技创新合作应对全球共同挑战，中国愿同全球顶尖科学家、国际科技组织一道，加强重大科学问题研究，加大共性科学技术破解，加深重点战略科学项目协作。本专项拟在碳中和、信息、材料、制造等领域主动设计部署一批项目，通过凝练制约经济社会发展的共性科学问题，开展国际联合研究，共同推动解决共性问题 and 全球共同挑战，共促全球可持续发展。

### 二、领域和方向

本批次指南拟在碳中和、信息、材料、制造等领域启动一批指南任务，共计 107 个二级指南方向。拟支持约 120 个项目，国拨经费概算 3.6 亿元人民币。项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究任务申报。除指南方向中特殊说明外，申报项目的研究内

容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。

除指南方向中特殊说明外，每个指南方向拟支持项目数为1~2项，具体是指：每个指南方向拟支持项目数原则为1项；在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持2项。2个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对2个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

项目不下设课题，中方参与单位总数不超过10家，实施周期一般不超过3年。鼓励产学研用合作开展研究。申报项目时须有1个（或以上）国（境）外合作单位共同参与申报，国（境）外合作单位总数不设上限。项目申报单位应与国（境）外合作单位具有良好的合作基础，双方需签订合作协议，合作团队均需具备一定的技术优势，并且分工明确，合作开展研究。

项目要坚持目标导向和问题导向，通过国际合作产出高质量成果。国际合作项目除了完成指南中明确的研究内容和考核指标之外，还要特别注重国际合作成效，应在突出国际合作的合著论文、联合申请国际专利或标准、国际会议、人才培养交流、合作平台建设等指标上有所体现。

具体指南方向如下。

## **1. 新能源**

**1.1 柔性钙钛矿太阳能电池耦合薄膜锌离子储能电池的光电储一体化器件合作研发（共性关键技术类）**

研究内容：设计生产大面积柔性钙钛矿太阳能电池模组；设计生产大面积高性能柔性薄膜锌离子储能电池；耦合柔性钙钛矿太阳能电池与柔性锌离子储能电池，构筑便携式柔性光电储一体化器件，并将其作为自供电电源集成到物联网等电子产品中。具体包括：

(1) 大面积柔性钙钛矿太阳能电池模组制备研究。包括：设计制备导电能力优异的电极结构；印刷制备大面积钙钛矿薄膜；干法或湿法制备电荷传输层；以期生产出大面积的产品原型。

(2) 高性能大面积柔性薄膜锌离子储能电池的制备。包括：设计合成高能量密度、高倍率性能及长循环寿命的有机无机杂化电极材料，阐明电极的氧化还原活性中心协同电荷存储机制，构建杂化电极结构与性能的关系；3D 打印出大面积柔性电极材料，明晰 3D 打印的尺寸及负载量对锌离子储能电池电学性能及耐弯折性能的影响。设计合成出能够抑制析氢等副反应的功能性凝胶电解质，构筑大面积柔性薄膜锌离子储能电池。

(3) 便携式钙钛矿太阳能电池耦合薄膜锌离子储能电池光电储一体化器件的构筑及应用。包括：阐明柔性钙钛矿太阳能电池与柔性锌离子储能电池参数匹配规律，揭示电荷的转移机制，探索出构筑整体高转化效率的可穿戴光电储一体化器件；集成一体化器件与物联网等电子产品，生产出便携式自供电—储能的智能产品。

考核指标：

(1) 大面积柔性钙钛矿太阳能电池模组制备技术：生产出面

积 $>1000\text{cm}^2$ 的产品原型，且完成批量试生产。制备出光电转换效率 $\geq 20\%$ 的柔性钙钛矿太阳能电池。连续光照 1000 小时后，效率衰减 $<10\%$ ；半径 15mm 弯折 5000 次后效率损失 $<10\%$ 。

(2) 大面积柔性薄膜锌离子储能电池的制备技术：电容量和能量密度分别接近于  $500\text{mAh/g}$  和  $480\text{Wh/kg}$ ，在  $5\text{A/g}$  的电流密度下，对其进行 10000 次循环充放电其库伦效率 $\geq 99.9\%$ 。完成 $>1000\text{cm}^2$ 电极的制备，且柔性锌离子储能电池可以承受 50000 次以上弯折，且容量保持率大于 90%。

(3) 柔性钙钛矿太阳能电池模组与柔性薄膜锌离子储能电池耦合制备出整体转化效率接近 10%的便携式光电储一体化器件，太阳能电池模组发电功率 $>150\text{W/m}^2$ ，结构单元锌离子电池的电容量和能量密度分别达到  $15\text{mAh/cm}^2$  和  $10\text{mWh/cm}^2$ ，并可对便携式电子产品提供稳定的供能。

关键词：柔性；钙钛矿太阳能电池；锌离子储能电池；光电储一体化器件

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 3:1。

## 1.2 宽带隙黄铜矿/晶硅叠层电池关键技术合作研发（共性关键技术类）

研究内容：针对单晶硅太阳能电池极限效率瓶颈问题，开展具有大规模量产前景的高效率稳定宽带隙黄铜矿/晶硅叠层太阳能电池关键技术研究。具体包括：筛选当前最具规模化量产潜力的宽带隙黄铜矿/晶硅叠层电池器件结构和制备技术；大面积均

匀、可重复的宽带隙黄铜矿有源层及功能层低成本制备技术；高质量黄铜矿有源层晶界和表面钝化等关键技术开发及高效率顶电池和叠层电池制备；叠层电池封装技术和长期稳定性验证。

考核指标：获得不少于一种具有规模化量产潜力的黄铜矿/晶硅叠层电池结构和制备技术，完成全生命周期度电成本（LCOE）预测评估；小面积黄铜矿薄膜单结电池效率不低于 18%（面积不小于 1 平方厘米，带隙 1.60 至 1.75 电子伏特）；小面积黄铜矿/晶硅两端叠层电池效率不低于 28%（面积不小于 1 平方厘米）；晶圆硅片尺寸的叠层电池片通过湿热老化测试，在 IEC61215 标准条件下老化 1000 小时后的效率衰减不高于 5%，在  $50\pm 10^{\circ}\text{C}$ 、AM1.5G（1000 瓦每平方米）模拟太阳光条件下最大功率点持续输出 2000 小时后的器件效率衰减小于 5%。

关键词：黄铜矿/晶硅叠层电池；光电转换效率；长期稳定性  
其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 2:1。

### 1.3 考虑碳足迹和环境效益的城市光伏系统规划方法合作研究（基础研究类）

研究内容：加快突破考虑碳足迹和环境效益的城市光伏系统规划方法和软件工具，服务全球发展倡议。具体包括：复杂城市环境光伏系统规划的方法框架研究，发电效益、减碳效益、环境效益综合评价方法；城市光伏系统碳足迹核算方法，考虑运营期环境效益的光伏系统碳汇核算方法；城市光伏系统环境效益评估方法研究，适用于地面和水面的光伏系统“微气候—微环境—微

生态”在线监测技术，适合城市光伏系统规划的阳光辐射、环境温度、植被等环境要素均尺度建模方法；城市光伏系统多物理场耦合仿真方法，城市环境中的阳光辐射场、温度场、风速风向场等多物理场等效建模技术及高性能仿真技术；考虑碳足迹和环境效益的城市光伏系统规划软件架构研究。

考核指标：

(1) 提出考虑碳足迹和环境效益的城市光伏系统规划方法，适用城市的最大面积 $\geq 1$  万平方公里，包括地面光伏、水面光伏、屋顶光伏等光伏系统类型不少于 3 种，明确规划方案不少于 3 类效益（发电效益、减碳效益、环境效益等）的综合评价方法。

(2) 城市光伏系统碳足迹核算周期 $\geq 20$  年，提出考虑运营期环境效益的光伏系统碳汇核算方法。

(3) 适用于城市地面和水面的兆瓦级以上光伏系统“微气候—微环境—微生态”在线监测平台，监测因子 $\geq 10$  种；考虑光伏系统的城市地面、水面和屋顶三个场景环境数值模型，包括阳光辐射、环境温度、植被、水体蒸发等环境要素 4 种以上，模型精度 $\geq 80\%$ 。

(4) 提出城市光伏系统多物理场耦合仿真方法，包括不少于 3 种物理场等效模型，多物理场耦合仿真的最小网格颗粒度 $\leq 100$  米 $\times 100$  米，时间颗粒度 $\leq 1$  小时。

(5) 开发考虑碳足迹和环境效益的城市光伏系统规划软件，获得软件著作权不少于 2 项，完成国内外典型城市应用案例不少

于 2 个并获得国际组织公开发布。

(6) 发起或加入低碳城市相关的国际倡议，倡议签约方包括亚洲、欧洲国家不少于 5 个，建立不少于 5 个国内外城市的国际合作网络。

关键词：光伏发电；光伏系统规划；多物理场耦合；碳足迹核算；环境效益评估

#### **1.4 300 米以上超高风电塔架结构动力学特性及优化设计方法合作研发（共性关键技术类）**

研究内容：为满足风电机组大型化和开发低风速地区风能的重大且急迫需求，针对高度超过 300 米风电机组塔架尚未解决的世界性技术难题，开展超高风电塔架结构动力学建模与求解、结构优化设计方法、涡激振动预测及控制等方面的国际合作研究。具体包括：

(1) 建立超高风电塔架结构动力学模型：针对超高风电塔架结构动力学计算面临的几何大变形、材料缺陷非线性、混合结构与材料等特殊挑战，开发高效、高精度的动力学模型和算法。

(2) 揭示超高风电塔架全局与局部失稳机理：在揭示材料缺陷和失圆度、局部凹陷等几何缺陷对超高风电塔架稳定性的定量影响规律的基础上，提出风载荷、地震载荷等服役载荷条件下全局和局部屈曲失稳机理分析方法。

(3) 提出面向风电机组全工况的超高塔架涡激振动预测与被动控制方法：建立非定常风况下超高塔架气动—结构耦合动态

响应分析模型，研发面向风电机组全工况的超高塔架涡激振动失稳边界预测技术，并提出其减振降载被动控制方法。

(4) 提出 300 米以上超高风电塔架结构优化设计方法：基于上述动力学分析及失稳机理模型，提出 300 米以上超高塔架结构优化设计方法，形成详细设计方案并通过第三方认证。

考核指标：建立计及几何、材料非线性因素的超高风电塔架动力学分析模型，开发超高风电塔架气动—结构耦合分析软件 1 套，内置的结构动力学方程求解算法较常规算法（如 Newmark 积分）求解时间缩短比例  $\geq 50\%$ 。提出 300 米以上的超高风电塔架结构设计方法，相比较常规结构（钢制塔筒结构）形式，减小塔架振动幅值  $\geq 5\%$ ，延长疲劳寿命比例  $\geq 5\%$ ，所提设计方案通过第三方设计认证。完成 200m~400m 中低风速市场风资源测量不少于 3 个地区，并开展匹配机型投资与收益测算，给出对应区域最优开发的塔架高度及匹配的机型。

关键词：300 米以上超高风电塔架；动力学模型；涡激振动；屈曲失稳；优化设计

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### **1.5 大型风电基地流场模拟与选址优化合作研究（基础研究类）**

研究内容：大型风电基地规模化开发是未来风电产业发展的主要形式，鉴于国内在风电场规划设计流场计算和软件开发上与欧美等国有一定差距，针对大型风电基地的流动特性、数值仿真、场群尾流、场址优化方法等基础问题，开展国际合作和系统研究。

具体包括：

(1) 基于运行数据和流场测量的大型风电基地流动特性研究，厘清大型风电基地大气流动影响因素和机制，为数值仿真提供实证和支撑。

(2) 研究大型风电基地空气流场数值模拟方法，研发新型大型风电基地流动相似性函数模型，解决大型风电基地多时空尺度计算精度和计算时间的难题。

(3) 研究大型风电基地场群尾流演化机理，厘清大型风电基地尾流模型的影响因素和机制，开发大型风电基地场群尾流模型。

(4) 研究大型风电基地宏观和微观选址多目标一体化优化方法，要求能实现大型风电基地场址自动划分、机组比选、微观选址、道路与集电线路拓扑、经济性的多目标协同优化。

(5) 软件平台的开发与示范，集成开发的模型和优化方法，主要技术指标达到国际领先水平。

考核指标：测试的大型风电基地规模不小于 1000MW，和运行数据同期的测风点不少于 5 个，测量时长不少于 6 个月；大型风电基地空气流场数值仿真精度达到国际领先水平，在测风塔点轮毂高度处年平均风速预测精度高于使用广泛的国外同类软件 5% 以上；尾流叠加和场群尾流恢复的模型精度达到国际领先水平，在主风向工况的场群下游 4 公里处的流速和湍流强度分别比使用广泛的国外同类软件高 5% 以上；大型风电基地风能利用效率达到国际领先水平，与常规设计方法和使用广泛的国外同类软

件相比提升 2%以上，投资水平降低 2%；软件平台界面友好，具有大型风电基地的测风数据分析、场址自动划分、机组优化选型、流场精细化分析、微观选址优化、发电量计算、道路与集电线路拓扑优化、经济性评价等功能，并应用在至少 1 个 1000MW 以上风电基地项目中。

关键词：大型风电基地；数值仿真；场群尾流；软件开发

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### **1.6 基于人工智能的风电装备故障诊断技术研究（共性关键技术类）**

研究内容：针对风电机组关键部件全生命周期中的质量缺陷和异常故障，开展基于人工智能技术的故障诊断、缺陷识别、残余寿命、优化闭环等技术研究。利用振动、声纹、文本、视觉等人工智能识别技术，快速准确地检测机组全生命周期中的质量问题 and 异常故障，提高风电装备设计、制造、运维等各阶段的质量和工艺水平，推动风电装备产业整体技术水平的升级，增强风电装备的安全性、可靠性。通过预测评估机组关键部件残余寿命，改善从制造源头到运维终端的全过程管理模式，突破当前我国风电行业异常故障频发的痛点问题，大幅提升风电全生命周期过程的稳定性和可靠性。

开发具备风电行业垂直领域深度业务知识的人工智能底层平台，可根据具体机型的制造源头到运维终端的全过程场景，快速生成具备业务知识、贴合业务需求的人工智能应用产品。具备

深度学习能力、创造能力和灵活的迁移能力，通过对大量实际风电行业数据进行学习，掌握风电行业内部的复杂关系和规律，快速理解风电行业的深层次业务知识，为用户提供更加准确和个性化的智能应用服务。

考核指标：基于人工智能技术，突破风机全生命周期过程中缺陷检测规范化难、错检率高的技术难题，针对风电装备全生命周期过程中的3个及以上典型场景，缺陷识别或故障诊断准确率达到95%、精确率达到85%以上、召回率达到80%以上，在风电装备制造产业链集中的链主企业进行实际验证和应用。对于风电装备中关键零部件的残余寿命评估问题，克服环境影响因素过多、结构复杂、传统方法评估不准确及效率低下的技术难题，完成发电机、齿轮箱、主轴轴承、叶片、塔架等大于10个关键部件的寿命评估，预测偏差小于10%，应用机型大于5种，风电场数量大于20个。基于人工智能技术应包含前沿方向技术（数字孪生、大模型、生成式模型等至少2项），模型技术相关发明专利申请至少20项，制修订行业标准与规范不少于3项。

关键词：生成式人工智能；风电制造；缺陷检测

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于1:1。

### **1.7 生物质全组分自供氢定向制芳烃联产聚酯材料单体技术合作研究（共性关键技术类）**

研究内容：针对农林废弃生物质资源全组分高值利用难的问题，开展生物质组分分离协同选择性转化技术研发，开发木质素

定向制备单环芳烃同步生成中间体和氢气技术，开发综纤维素制取长链二元醇聚酯材料单体技术，通过国际合作突破芳烃收率低的瓶颈。具体包括：生物质非酸非碱体系下组分分离技术；木质素在气固体系下催化热解—自供氢制备芳烃技术与小试验证；木质素催化热解剩余物化学链转化制高浓度氢技术；综纤维素组分分解聚为糖衍生物及其自供氢定向转化为长链二元醇技术。

考核指标：木质素制备芳烃质量产率不低于 15%，芳烃小试验证系统产能达到 100 千克/天；反应器出口粗氢气浓度大于 90%，氢气自供率达到 100%；长链二元醇的转化率和产率不低于 90% 和 60%（基于综纤维素）。

关键词：秸秆类生物质；全组分利用；自供氢；芳烃；长链二元醇

### **1.8 生物质光电催化定向转化与高值利用技术合作研究（基础研究类）**

研究内容：针对生物质结构复杂，传统热转化能耗高、易结焦、选择性调控难的问题，开发温和条件的光电催化技术，实现生物质的定向转化与高值利用。具体包括：研发生物质复合溶剂预处理高效制备 C2 以上小分子中间体关键技术与工艺，构建生物质 C-C 和 C-O 键等化学键的精准断键与重构方法，通过国际合作攻克生物质叠层光电催化高效转化新技术，研制生物质小分子光电催化定向生产芳香族单体和羧酸联产氢气小试验证系统并开展系统稳定性研究。

考核指标：形成生物质全组分温和条件下定向转化制芳香族单体和羧酸联产氢气工艺技术体系；建成无偏压的叠层光电催化生物质基化学品联产氢气小试验证系统，实现生物质预处理制备小分子化合物的碳收率 $\geq 80\%$ ，木质素转化制备芳香族单体质量收率 $\geq 50\%$ ，综纤维素转化制备羧酸产物质量收率 $\geq 70\%$ ，直接产氢纯度 $\geq 99\%$ ，产氢量 $\geq 1\text{m}^3/\text{d}$ 。

关键词：生物质预处理；叠层光电催化；定向转化

### 1.9 能源岛及其组网系统多尺度仿真技术与软件合作研发(基础研究类)

研究内容：针对深远海能源资源开发国家战略对海上能源岛及其关联装备组网系统的多能源、多物理场、规模化仿真要求，研究海上能源岛及其组网系统多尺度仿真技术。具体包括：海上能源岛内部电—热—氢等能源系统稳态和电力暂态仿真技术；漂浮式能源岛气动—水动—机械—电气耦合系统一体化仿真技术；海上能源岛及周边海洋能汇集从毫秒级至小时级的综合仿真技术；多元互联的海上能源岛组网系统级多尺度仿真技术。

考核指标：提出海上能源岛及其组网系统多时空模拟仿真方法，为海上能源岛及其规模化应用奠定理论基础；构建海上能源岛及其组网系统典型算例，能源类型（包括海上风电、海面光伏、波浪能等）不少于 3 种，发电总容量不小于 1GW，能源岛互联形式包括但不限于海缆、管道、船舶 3 种；研发针对能源岛及其组网系统的多尺度仿真软件模块并形成集成软件平台，关键状态变

量仿真误差不大于 6%（包括但不限于电气系统电压/频率、漂浮式装置摆动幅度、船舶与能源岛互联通道能源传输能力），流体、机械、电气系统在多场景下仿真结果分别与各自领域现有专业软件仿真数据进行对比。与外方合作建立海上能源联合研究中心或发起成立该领域合作联盟。

关键词：海上能源岛；组网系统；多尺度模拟仿真

### **1.10 工业企业灵活性提升及多品种能源交易策略合作研究（基础研究类）**

研究内容：新型电力系统亟需提升灵活性调控资源，工业企业负荷基数大、调控潜力高，但受其工艺订单、人力排班、能效—碳效及市场机制不健全等因素影响，其灵活调控实现难度大且企业参与积极性不高，为此开展工业企业灵活性提升及多品种能源交易机制研究，通过市场机制设计和关键技术突破，引导工业企业参与电网灵活调控并实现自身经济利益提升，达到双赢目的。具体包括：多维随机因素影响下工业企业的多能负荷建模及灵活调节潜力量化评估技术；面向工业企业灵活性提升的多能流—物质流的跨时空、跨行业协同优化策略；工业企业参与现货市场及日前—实时需求响应市场的交易决策；面向工业企业多品位能源梯级利用的跨行业电—冷/热—氢端对端交易机制及方法。

考核指标：提出工业企业多能负荷建模及灵活调节潜力量化评估仿真方法，构建工业企业灵活调控及参与多品种能源—需求响应市场交易的典型算例，涵盖不少于 3 类工业企业（可考虑钢

铁、有色、非金属矿物、石化、造纸、化工等工业), 分钟级灵活可调能力评估误差 $\leq 10\%$ , 并采用企业不同工况实测数据仿真验证; 工业企业参与本地跨行业能源交易品种包括但不限于电、冷/热、氢 3 类, 参与交易企业类型 $\geq 3$ ; 与外方联合申请该领域的国际专利(或标准)。

关键词: 工业企业; 灵活性; 多尺度仿真; 需求响应; 冷—热—氢本地交易

## 2. 先进储能

### 2.1 聚合物基全固态锂硫电池技术研究(基础研究类)

研究内容: 针对高安全、高能量密度、长寿命和低环境影响的储能系统的迫切要求, 发展聚合物基固态锂硫电池技术。具体包括: 研究无多硫化物穿梭效应的含硫聚合物正极材料, 实现固固转化机制; 研究轻质的聚合物电解质的面离子输运特性、力学性能、与正负极界面兼容性; 研究聚合物基固态锂硫电池中锂金属与电解质的稳定性和锂金属的均匀剥离/沉积; 研究有效且稳定的电解质/电极界面的结构设计; 研究电池失效行为、安全评估和固态锂硫电池综合评估方法。

考核指标: 固态聚合物硫正极比容量大于  $800\text{mAh/g}$ ; 聚合物电解质厚度 $< 25\mu\text{m}$ , 室温电导率 $\geq 1\text{mS/cm}$ , 锂离子迁移数 $\geq 0.6$ , 拉伸强度 $> 50\text{MPa}$ ; 全固态锂硫电池: 容量 $> 10\text{Ah}$ , 比能量 $> 240\text{Wh/kg}$ ,  $1\text{C}$  充放电条件循环寿命 $> 10000$  次。

关键词: 含硫聚合物正极; 聚合物电解质; 固态电池; 锂硫

电池

## 2.2 新型长循环转换反应锂电池储能技术合作研究（基础研究类）

研究内容：针对低成本、高安全、可持续发展的储能技术需求，研究非硫系新型转换反应储能锂电池。具体包括：低成本、高安全、长寿命新型锂电池正极和负极关键材料；电极/电解质界面稳定技术和失效机制；电池的设计与制造技术；电池安全性评测和储能寿命预测仿真技术。

考核指标：正、负极材料极片比容量 $\geq 500\text{mAh/g}$ ，循环 $\geq 5000$ 次；单体电芯 $\geq 5\text{Ah}$ ，首圈库仑效率 $>80\%$ ，室温 1C 充放电，能量密度 $\geq 200\text{Wh/kg}$ ，循环 $\geq 5000$ 次，5000 周后电芯体积膨胀小于 15%；提出安全性提升方法，安全性满足国标；揭示储能型锂电池的电化学失效机制、热失控机制、SOH 演化规律和计算方法。电芯成本不超过 350 元/kWh。

关键词：转换反应锂电池；低成本；高安全；储能电池

## 2.3 数据中心不间断电源主动电网支撑关键技术联合研发（共性关键技术类）

研究内容：合作研究数据中心不间断电源主动支撑电网的拓扑结构、控制关键技术和集群管理技术，先进电池系统用于不间断电源备电与储能的复合应用技术，实现数据中心资产的高效利用和新型电力系统灵活性调节能力提升。

考核指标：不间断电源集群具有主动提供快速调频、自动发

电控制（AGC）、自动电压控制（AVC）及削峰填谷等功能，集群控制精度不低于 1%，快速调频响应时间不大于 200 毫秒。联合研发关键设备，实现 5 个以上单元的集群应用示范；联合建立国际学术工作组，完成至少 1 项白皮书并在国际会议上专题发布。

关键词：数据中心；不间断电源集群；快速调频

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

#### **2.4 新型混合储能技术合作研究（共性关键技术类）**

研究内容：针对新能源发电侧功率波动平抑、电网侧调峰调频以及共享储能的应用需求，研究开发兼具高能量、高功率、长寿命及高安全的混合储能系统，具体包括：适应于混合储能的高能量密度、长寿命、高安全的能量型固态锂离子储能电池开发；适应于混合储能的高功率、长寿命、宽温区的功率型钠离子储能电池开发；基于“固态锂离子电池—钠离子电池”组合形式的混合储能系统的配置策略、能量控制策略及数百 kWh 级的混合储能集成技术开发。

考核指标：固态锂离子电池单体容量不低于 50Ah，能量密度不小于 200Wh/kg，循环寿命不低于 8000 个循环（0.5C/0.5C，95% 放电深度，25°C，剩余 60% 容量），液体电解质含量占比低于电芯质量的 5wt%，可通过针刺测试；钠离子电池单体容量不低于 50Ah，比能量不小于 160Wh/kg，峰值放电倍率不低于 5C（持续 30s），循环寿命不低于 3000 个循环（2C/2C，95% 放电深度，25°C，剩余 90% 容量），工作环境温度 -40°C~60°C；分别研究提出满足

发电侧功率波动平抑、电网侧调峰调频及共享储能应用需求的混合储能容量配置策略，研究提出提升混合储能系统能量效率、响应速度、使用寿命的功率分配及能量控制策略，研究开发“固态锂电池—钠离子电池”混合储能系统，总能量不低于 200kWh，峰值功率不低于 500kW (30s)，系统快速响应时间不超过 100ms，系统能量效率不低于 90%（交流侧），电池状态估算误差不超过 3%，系统寿命不低于 6000 个循环（0.5P/0.5P，95%放电深度，25°C，剩余 60%容量），滥用条件下不发生起火、爆炸。

关键词：固态锂离子电池；钠离子电池；混合储能系统

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

## 2.5 高密度热泵储电关键技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：新型热泵储电系统的高温蓄热/低温蓄冷的传蓄热（冷）机理、高温压缩/低温膨胀的流动特性及损失机理、系统能量转化与传递机理，以及高/低温储能单元、高温压缩机/低温膨胀机、系统设计优化等关键技术，发展高密度、低成本的热泵储电技术，支撑可再生能源的大规模发展。

考核指标：实现 3 项新型热泵储电系统关键科学问题和关键技术的突破，包括：新型热泵储电系统能量转化机理与系统全工况优化设计；高温蓄热/低温蓄冷的传蓄热（冷）机理及单元技术；高温压缩/低温膨胀流动损失机理及三维设计技术。热泵储电系统设计电—电效率不低于 60%，储能密度不低于 40kWh/m<sup>3</sup>；高温蓄热、低温蓄冷单元温度分别不低于 600°C 和不高于 -100°C，储

热（冷）单元储放热效率不低于 90%。

关键词：热泵储电；储热；储冷；压缩；膨胀

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

## 2.6 飞轮与压缩空气储能复合储能技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：高惯量飞轮与压缩空气储能发电机耦合结构以及同步运行控制技术；磁悬浮真空飞轮电机转子轴内通流散热技术；2.0MW/500MJ 飞轮单机设计方案；飞轮与压缩空气储能耦合系统的动态响应特性，复合储能系统对新型电力系统的灵活调节特性，以满足电力系统调频、调峰以及稳性支撑需求。

考核指标：提出飞轮与压缩空气储能的耦合控制方案，揭示复合储能系统的动态响应特性及其调峰调频特性；飞轮储能系统单机设计功率 $\geq 2\text{MW}$ ，储能 $\geq 500\text{MJ}$ ，效率 $\geq 85\%$ ；基于小容量飞轮储能机组与压缩空气储能示范电站实现复合储能应用验证，飞轮储能机组功率 $\geq 300\text{kW}$ ，储能 $\geq 90\text{MJ}$ ，压缩空气储能示范电站功率 $\geq 10\text{MW}$ 。

关键词：飞轮储能；压缩空气储能；混合储能；惯量飞轮；新型电力系统

## 2.7 大规模低成本跨季节热化学储能关键技术合作研究（基础研究类）

研究内容：开展大规模低成本跨季节热化学储能关键技术研究，揭示热化学储能材料多尺度构型与循环活性之间的构效关系，

提出大规模低成本高活性材料制备方法；揭示热化学反应机制、微观传热传质机制，探究热化学反应器内多场耦合协同强化方法，提出高效易扩展热化学反应器设计方法；开展大跨度变工况条件下热化学储能系统的优化设计与灵活调控方法研究，构建太阳能驱动的跨季节热化学储能优化集成系统。具体包括：大规模低成本高活性热化学储热材料制备技术、高效易扩展热化学反应器设计技术、大跨度变工况条件下热化学储能系统的优化设计与灵活调控技术。

考核指标：热化学储能材料储能密度 $\geq 1500\text{kJ/kg}$ ，释能温度 $\geq 400^\circ\text{C}$ ，百千瓦时储能单元化学能损失率 $\leq 0.5\%/30$ 天，百公斤级储能单元20次储释能循环后转化率 $\geq 85\%$ 。

关键词：跨季节储能；热化学储能材料；热化学反应器；热化学储能系统

## 2.8 液态空气储能系统安全与能效提升技术合作研究及示范应用（应用示范类）

研究内容：面向液相蓄冷运维安全，研究深冷多元工质热物性及蓄冷新方案，研究深冷多元工质燃爆特性、抑制机理及安全评价体系，开展热力性能、传热匹配和系统运维安全协同优化研究；面向固相蓄冷效能提升，研究抑制非对称效应固相蓄冷新方法，开发深冷流化固相蓄冷效能提升技术；面向综合能效提质，研究液态空气储能与多能互补耦合特性及碳排放精密计量，建立能量梯级协同智能调度模式，形成液态空气储能碳排放计量评价

规范/标准，在一定规模液态空气储能系统中进行运维安全、能效提升、多能互补等技术示范应用。

考核指标：在能效提升方面，提出不少于 2 项蓄冷新技术新方法，循环储释冷持续时长 $\geq 5$  小时，实现液相蓄冷往返效率 $\geq 95\%$ ，固相蓄冷往返效率 $\geq 90\%$ ；在安全质量方面，形成液态空气储能系统安全技术规范/标准 1 项；在碳排放计量方面，形成液态空气储能系统碳排放计量规范/标准 1 项。在 60MW/300MWh 或以上规模液态空气储能系统中完成相关技术实验验证和示范应用，运行时长 $\geq 1$  个月。

关键词：液态空气储能；运维安全；能效提升；碳排放计量；示范应用

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 2:1。

## 2.9 储能电池跨尺度原位成像技术合作研究（基础研究类）

研究内容：针对储能电池（如锂电池、钠电池、全固态电池等）中电极反应机制、性能预测和失效分析等研究需求，发展高时空分辨的跨尺度原位成像技术，在微观、介观和宏观尺度上实现储能电池的原位表征。具体包括：发展跨越原子、颗粒与电极尺度的先进成像技术集群，实现充放电过程中电极材料体相与表面原子构型、颗粒微结构以及极片形貌演化的可视化研究；阐明储能电池的电极反应和性能衰减机制。

考核指标：实现电极材料体相与表面的原子尺度成像，结构与表面分辨率 $\leq 0.08\text{nm}$ ，时间分辨率 $\leq 1\text{min}$ ；实时追踪单颗粒电

化学反应动力学过程，视场  $FOV \geq 15\mu\text{m}$ ，空间分辨率  $\leq 50\text{nm}$ ，时间分辨率  $\leq 1\text{ms}$ ；原位监测电极极片结构及其动态演化，视场  $FOV \geq 1\text{cm}$ ，空间分辨率  $\leq 1\mu\text{m}$ ，时间分辨率  $\leq 500\text{ms}$ ；揭示储能电池原子—颗粒—电极跨尺度结构与电池性能的构效关系，阐明电极反应和性能衰减机制。

关键词：跨尺度成像技术；电极反应机制；性能衰减机制

## 2.10 规模储能价值收益及碳排放评估技术合作研究（基础研究类）

研究内容：针对大规模可再生能源储存利用的重大需求，研究各类规模储能技术的价值收益。具体包括：研究能够影响各类储能技术全生命周期成本的影响因素，构建评估各类储能技术全生命周期度电成本水平及变化趋势的方法；研究考虑不同应用场景及不同收益互斥关系下的储能综合收益评估方法及模型，评估储能的多重效益堆叠潜力；研究全生命周期内各类储能技术的碳排放，构建核算各类储能技术全生命周期碳排放量的指标、方法与体系。

考核指标：提交各类储能技术全生命周期度电成本评估模型 1 套；提交考虑不同应用场景及不同收益互斥关系的储能综合效益评估方法及模型 1 套；提交包括电化学储能、物理储能、化学储能等各类储能技术全生命周期碳排放量评估方法 1 套；形成一套以上标准。

关键词：规模储能；价值收益；碳排放评估；储能综合收益

模型

## 2.11 钠离子储能电池热失控机理及火灾危险性评价技术合作研究（基础研究类）

研究内容：针对钠离子储能电池热失控机理及火灾危险性不清的问题，研究钠离子储能电池失效及热失控机理、热失控传播及火蔓延规律、火灾危险性分析与评价技术。具体包括：钠离子储能电池关键材料单一及多组分耦合失效机理、电极/电解液界面反应机理、失效主控反应；不同滥用方式下钠离子储能电池热失控参量演变规律、热失控及传播机理；确定多级预警阈值及策略，开发多维信号感知的钠离子储能电池热失控预警技术；开展电池模组及电池簇级别火灾特性研究，建立钠离子储能系统火灾危险性评价技术体系。

考核指标：钠离子储能电池关键材料至少包含主流正极材料 $\geq 2$ 种，主流负极材料 $\geq 2$ 种，主流电解质 $\geq 2$ 种；提出钠离子储能电池关键材料安全性提升方法；触发钠离子储能电池热失控的滥用方式至少包含过热、过充、内短路、外短路中的3项；开发可量化评估钠离子储能电池热失控安全状态的参量 $\geq 6$ 项（温度、电压、产气量、气体浓度、产气速率、气压、应变等）；厘清不同滥用方式钠离子储能电池热失控演化机理及其差异性；揭示钠离子储能电池模组及电池簇热失控传播规律及传播主控机制；钠离子储能电池热失控预警信号 $\geq 5$ 种（电信号、热信号、气体信号、压力信号、应变信号等），故障预警超前时间 $\geq 1$ 天，热失控预警

超前时间 $\geq 20\text{min}$ ；钠离子储能电池模组及电池簇火灾特征指标 $\geq 6$ 项（热释放速率、火焰温度、燃烧产物、产物毒性、爆炸风险等）；开发钠离子储能电池热失控火灾危险性评价系统1套。

关键词：钠离子电池；热失控机理；火灾危险性

### 3. 低碳零碳工业

#### 3.1 氢冶金过程的基础科学问题合作研究（基础研究类）

研究内容：研究典型氢冶金核心反应器内的多相流动、传递和反应的多尺度耦合作用机理。反应器内颗粒尺度上的流动、传递和反应机理，反应过程介尺度结构（如颗粒粘结、聚团等）的形成和演化规律，铁矿表观反应动力学与非均匀结构的关系，介尺度结构对宏观流动、传递和反应的影响及调控规律。揭示反应器内宏尺度上气体扩散和时空分布规律、供热与物料还原反应、转化率的平衡关系及调控方法，反应器操作条件、内构件、还原气体组成、布料方式等对热平衡、气体分布和反应的影响规律，反应器的稳定操作机理，不同物料在反应器中形成的介尺度结构及流动、传递和反应规律。在此基础上，阐明调控氢气消耗量、还原效率、碳排放、能耗和经济性等工艺指标的科学基础。

考核指标：多尺度理论和模拟方法可解析颗粒尺度、颗粒聚团或球团尺度、反应器尺度上的流动、传递和反应耦合规律，阐明反应器中与颗粒相关的介尺度结构的形成和演化规律，揭示反应器的稳定操作机理。理论和模拟方法能够揭示反应器内宏尺度上气体扩散和时空分布规律，分析供热与反应效率、转化率的关系。

系，分析反应器操作条件、内构件、还原气体、物料组成、布料方式等对热平衡、气体分布和反应的影响规律。模拟方法及软件可准确计算氢气消耗量、还原效率、碳排放、能耗和经济性等工艺指标。理论模型和模拟方法可解析颗粒尺度的流动、传热和反应，动态模拟仿真时间与物理时间之比小于 10:1；对流体力学、还原度等参数的模拟精度应得到实验验证，误差不超过 10%；支撑至少 1 种典型氢冶金工艺放大过程。

关键词：氢冶金；过程放大；过程强化；多尺度模拟；介尺度

### 3.2 绿电低温电解制铁合作研究（基础研究类）

研究内容：针对传统炼铁技术二氧化碳排放量大的问题，结合风光绿电等可再生能源技术的快速发展，开展铁矿石酸解—绿电低温电解制铁基础研究；探究铁矿石离子态高效转化及介质循环规律，铁离子迁移沉积行为及强化方法，非线性电解制铁纯度及形貌控制方法，电解槽流场电场耦合机制，应用场景及相关电气控制设计方法；建立铁矿石酸解—绿电低温电解制铁新工艺，完成电解制铁关键材料和模块化高效反应器开发、光伏绿电直接低温电解制铁技术集成及样机系统研发。

考核指标：揭示绿电直接电解制铁条件下，铁矿石离子态高效转化及介质循环规律，铁离子迁移沉积行为及强化机制，电解槽流场电场耦合机制；建立铁矿石低温电解制铁新工艺、介质高效循环、铁回收率 90%以上，非线性电解制铁纯度及形貌控制方法，应用场景及相关电气控制设计方法；研发光伏直接低温电解

制铁样机系统，反应温度 $\leq 90^{\circ}\text{C}$ ，年产能 $\geq 2000\text{kg}$ ，产铁尺寸不低于 $0.5\text{m}\times 0.5\text{m}$ ，纯度 $\geq 99.9\%$ ，电解直流电耗 $\leq 5\text{kWh/kg Fe}$ ，孤网运行时间 $\geq 7$ 天，与高炉炼铁相比二氧化碳排放降低90%以上。

关键词：绿电直接电解制铁；低温电解制铁；超低碳制铁；光伏电解制铁；绿色纯铁

### 3.3 生物质炭化提质及高炉清洁冶炼关键技术联合研发（共性关键技术类）

研究内容：针对可再生生物质能量密度低、水分大、破碎难，无法直接应用于高炉喷吹的难题，开展生物质炭化提质及高炉清洁冶炼关键技术联合研发。具体包括：研究高压蒸汽条件下生物质组分及结构演变机理，开发生物质高压蒸汽快速提质技术；解析生物质炭粉储喷条件下固气两相流态化机理及运动机制，开发生物质炭粉安全均匀储喷技术；探明生物质炭在高炉内能量传递和物相转变机制，开发生物质炭高炉清洁高效冶炼技术；开展生物质炭定向制备及高炉喷吹关键技术应用示范。

考核指标：支撑建设1万吨规模的生物质高压蒸汽快速提质示范线，相比现有技术生物质处理能耗降低10%以上；完成高炉喷吹提质后生物质炭工业试验，实现高炉吨铁喷吹高压蒸汽提质生物质炭 $30\text{kg/t}$ 以上，提质后生物质炭与喷吹烟煤的置换比达到0.8以上，形成高炉喷吹生物质炭标准1项（征求意见稿）；构建多学科交叉的国际性研发团队；与多个国家（地区、国际组织）开展合作，申请发明专利5项；召开生物质冶金关键技术国际研

讨会 1 次以上。

关键词：生物质；炭化提质；高炉喷吹；减碳降耗

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1.5:1。

### **3.4 硅铝质胶凝材料分子结构与相调控机理合作研究（基础研究类）**

研究内容：针对富硅/铝固废制备的低碳胶凝材料产物凝胶含量高、弹性模量低的共性问题，研究硅铝质固废反应动力学精确表征方法与协同水化作用机制；研究固废中异质离子对胶凝材料分子结构有序性与相组成的影响规律，调控不同物相长期稳定性及其本征力学性质；研究胶凝材料的晶种诱导与相调控技术，实现硅铝质低碳胶凝材料精确设计与有效调控。

考核指标：建成针对硅铝质胶凝材料的原材料数据库平台；揭示胶凝材料的凝胶相有序性并开发模型，发明胶凝材料结构调控的晶种低成本制备技术；与同强度等级的普通硅酸盐水泥相比，弹性模量相当，碳排放降低 70%以上。申请发明专利 4 项，中外共同发表高水平学术论文不少于 5 篇。

关键词：胶凝材料；分子结构；弹性模量；异质离子；晶种

### **3.5 固废高效碳捕集及固碳建材高性能制备关键技术合作研究与应用（共性关键技术类）**

研究内容：面向流程工业烟气二氧化碳脱除、大宗固废高效资源化利用及建材绿色低碳发展的多重需求，研究富钙/铝/镁固废在工业窑炉烟气氛围中的高效矿化—固碳机制，建立固废碳捕

集新工艺与新方法；研究工业窑炉烟气直接矿化制备建材制品关键技术，建立固碳建材组成设计、性能调控方法；形成固废高效碳捕集与固碳建材高性能制备的成套工艺、技术与装备，实现示范应用。

考核指标：建立温度、湿度、浓度、分压等多因素条件下工业烟气中二氧化碳的气—固转化模型；提出典型固废高效碳捕集新方法与新工艺，每吨固废的固碳量不低于 100 公斤，且矿化活化的辅助胶凝材料活性指数不低于 90%；开发不少于 2 种固碳建材产品，每吨产品固碳量不低于 180 公斤，力学性能相比同类产品提升 20%以上；开发 1 套固废碳捕集装置，成套技术与装备在不少于 1 条生产线示范应用，固碳规模达到 1 万吨/年以上；固碳建材成套技术在典型区域完成不少于 2 个重点行业示范；申请发明专利不少于 5 件，制修订标准与规范不少于 2 部；中外共同发表高水平学术论文不少于 4 篇。

关键词：工业烟气；固废；矿化；碳捕集；固碳建材

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 2.5:1。项目必须有生产型企业参加。

### **3.6 水泥工业燃料替代协同减污降碳关键技术与装备合作研发（共性关键技术类）**

研究内容：针对水泥工业替代燃料代替化石燃料时直接入窑燃烧温度和气氛不可控、污染物减排效果差等问题，研究可燃废弃物定向催化热解调控机制及裂解产物对污染物生成、富集、去

除与排放的影响机制；研究适用于新型干法水泥生产工艺的可燃废弃物协同减污降碳与环境保障关键技术，开发核心装备；实现可燃废弃物高效预处理和水泥生产线深度减污降碳。

考核指标：建立可燃废弃物热裂解动力学模型及产物定向调控机制；开发 1 套可燃废弃物热解装备，建成 1 条热解预处理示范线；可燃废弃物协同减污降碳技术在 5000t/d 的熟料生产线集成应用；与现有新型干法水泥生产工艺相比，关键节点的温度波动不超过 5%，实现稳定运行；分解炉燃料替代率>30%，水泥熟料生产过程燃料燃烧碳排放减少 15%以上，烟气 SO<sub>2</sub> 排放≤35mg/m<sup>3</sup>、NO<sub>x</sub> 排放≤50mg/m<sup>3</sup>；申请发明专利 3 件以上，形成新装备 1 套、新技术 2 项。中外共同发表高水平学术论文不少于 4 篇。

关键词：可燃废弃物；减污降碳；可控热裂解；工艺装备

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1.5:1。项目必须有生产型企业参加。

### 3.7 化工行业低碳分离新材料及新工艺合作研究（基础研究类）

研究内容：面向化工过程中高耗能分离环节的低碳化要求及非化石资源高效高值转化需求，对新型分离材料、新型催化材料进行验证研究。针对化工生产中二氧化碳等气体分离、化工含盐废水处理等耗能过程，研究节能降耗关键新分离材料及工艺；研究二氧化碳和生物质等非化石资源还原与氧化集成耦合，开发新型高效催化新材料及工艺，验证异相资源耦合转化的协同增效作用。

考核指标：面向化工行业气相、液相分离等亟待节能降耗的分离过程，开发低成本、变革性分离材料 2~3 项，获得新型分离材料的可控、温和合成方法论，揭示结构、位点与分离效能间的关联性；研发包含低浓度二氧化碳和生物质平台化合物在内的非化石资源为碳源的化学品合成，实现还原与氧化耦合的光电催化转化新路线 2~3 条，构建高性能吸附—催化一体化材料。部分新材料、新工艺完成试验验证，合作输出核心发明专利 5~10 项。

关键词：分离新材料；可再生能源利用；光电催化新过程；非化石资源转化

### **3.8 煤化工过程高性能分子筛催化材料合作研究（基础研究类）**

研究内容：分子筛催化剂在煤化工过程中起到关键作用，催化材料创新有利于煤化工产业升级。以高性能分子筛催化材料研究为目标，通过发展光学、声学等原位表征新方法，并结合人工智能技术，研究分子筛晶化过程，认识分子筛晶化机制；发展分子筛合成方法学，调控分子筛形貌及铝落位，结合跨尺度理论计算，认识不同物性分子筛（形貌、铝落位等）催化反应的扩散行为及反应机制，深入理解构效关系，提升催化性能；利用机器学习，建立分子筛及其催化反应的数据库，构建机器学习和统计学习模型软件包，为煤化工过程的高性能分子筛催化材料创制提供方向指引。

考核指标：发展分子筛晶化原位表征方法，认识分子筛从前驱体到成核以及生长的全过程，建立相关数学或数值模型；发展

出分子筛晶体形貌和铝落位理性调控的合成策略，研发出重要煤化工工业过程的高性能分子筛催化剂，与工业催化剂相比，目标产物收率提升大于 20%；建立分子筛催化反应的数据库及预测模型，预测模型在目标产物选择性和催化剂寿命方面，预测精度不低于 90%，验证数据的预测精度不低于 80%。申请发明专利 5 件。

关键词：煤化工；分子筛催化剂；分子筛合成；晶化机理；机器学习

### 3.9 新型二氧化碳可逆转化电催化技术合作研究（基础研究类）

研究内容：针对新型甲酸燃料电池发展需求，将二氧化碳循环再利用与电能储存利用相耦合，研发二氧化碳还原—甲酸氧化双功能分子电催化剂；利用同一催化剂催化“二氧化碳—甲酸”互相转化工作原理，创制性能稳定的廉价分子催化剂，温和条件下实现电催化二氧化碳和甲酸的高选择性可逆转化，阐明催化机制；聚焦电催化体系的选择性和法拉第效率，研究催化剂结构、电解液浓度、酸碱性等与催化性能的关系，研制出工作效率高、过电位低、稳定性好的廉价金属电催化剂。

考核指标：创制 3~5 种高效稳定的双功能分子催化剂，阐明电催化 C-H 键形成、断裂工作机制，实现高效、高选择性二氧化碳还原—甲酸氧化的互转化反应，电解实验法拉第效率达 90% 以上，催化剂连续使用时间（寿命）超过 72h。

关键词：电催化；二氧化碳可逆转化；甲酸氧化；廉价金属催化剂

### 3.10 典型化工过程低碳零碳数字化、智能化关键技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：面向我国化工产业的低碳升级，结合数字化、智能化等新技术的创新发展，研究化工单元实体测量仿真和数据同化技术，实现多源多维化工模型的数字化；研究机理和数据耦合驱动的数字镜像建模方法，研制基于数字孪生镜像的 AI 计算分析系统，实现典型化工过程的智能计算；研制面向典型化工单元的数字 AI 机器人技术，实现复杂化工场景的智能化预警、故障诊断和控制优化，最终，形成一套可应用于化工行业减碳增效的数字孪生和智能计算的技术体系。

考核指标：研制典型化工单元的数字孪生智能计算分析系统 1 套，突破典型化工单元的 AI 异常检测、预警和控制优化技术 2~3 项，提升试验过程控制效率 50%以上；基于数字孪生智能计算分析技术体系，完成典型化工单元的应用验证，与现有技术装备相比，实现运行效率提升 20%（化工行业尚无典型应用案例，钢铁行业有腾讯“透明工厂”马钢应用案例实现生产效率提高 10%以上）、降碳 10%以上；构建若干多学科交叉的国际性研发团队，培育一批青年人才，形成高水平研发平台；合作输出一批核心专利，申请发明专利 3~5 项。

关键词：化工单元；数字孪生镜像；智能计算分析；数字 AI 机器人

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### **3.11 重点行业典型产品碳足迹方法合作研究（基础研究类）**

研究内容：基于产品全生命周期理念，选取新能源汽车、动力电池、光伏产品等产业链长、涉及面广、经济影响力大的产业典型产品开展碳足迹监测、核查、认证等方法学研究。在全产业链过程中，分析产品制造流程中碳元素迁移转化机理，建立产品碳排放精准核算与计量方法、模型及基础数据库；制定支撑国际数据互认的碳足迹数据文件通用标准格式，研究形成产品层面碳排放数据质量管控与评价规范；研究跨区域（国家）、跨行业碳排放信息协同汇集机制，建立贯通全产业链多源异构碳排放特征数据融合和集成技术规范，建立以数字技术为支撑的全产业链碳排放国际互认模式。

考核指标：形成新能源汽车、动力电池、光伏产品等典型产品碳足迹核算方法与报告指南、数据质量管控技术、产品种类规则（PCR）等标准规范 5 项以上（其中，国际标准不少于 2 项，国家/行业标准不少于 2 项）；建立覆盖 4~5 个重点行业典型产品的碳足迹核算基础数据库 1 套；申请发明专利 2 项以上。

关键词：碳达峰碳中和；碳排放核算方法；碳足迹；基础数据库

## **4. 碳捕集利用与封存**

### **4.1 绿色高效 CO<sub>2</sub> 捕集材料与工艺合作研究（基础研究类）**

研究内容：开发 CO<sub>2</sub> 绿色吸收剂，研究 CO<sub>2</sub> 捕集过程强化技术，研究烟气组分对捕集性能的影响规律；开发 CO<sub>2</sub> 吸附新材料，

研究材料界面特性与吸/脱附性能的构效关系；研发 CO<sub>2</sub> 捕集新工艺，开展绿色高效 CO<sub>2</sub> 捕集材料及工艺的试验验证。

考核指标（项目根据研究方向选择其中 1 套考核指标）：

（1）设计 1~2 种新型 CO<sub>2</sub> 吸收剂；CO<sub>2</sub> 捕集率  $\geq 90\%$ ，再生热耗  $\leq 1.6\text{GJ/tCO}_2$ ，吸收剂有效成分损耗率  $\leq 0.3\text{kg/tCO}_2$ ；完成中试规模实验验证，烟气量  $\geq 500\text{Nm}^3/\text{h}$ ，运行 1000h 以上。

（2）研发高效吸附材料 1~2 种，在模拟烟气（1kPa、40°C、12%CO<sub>2</sub>）条件下，CO<sub>2</sub> 捕集率  $\geq 90\%$ ，CO<sub>2</sub> 产品气纯度  $\geq 95\%$ ，CO<sub>2</sub> 吸附量  $\geq 0.13\text{kg/kg}$ ，再生能耗  $\leq 1.4\text{GJ/tCO}_2$ ，形成百吨级 CO<sub>2</sub> 吸附关键技术验证样机 1 台，连续稳定运行 72h 以上。

关键词：CO<sub>2</sub> 捕集；烟气；低能耗；绿色捕集材料

拟支持项目数：2 项（吸收捕集材料方向支持 1 项，吸附捕集材料方向支持 1 项，申报项目应涵盖所选方向所对应的研究内容和考核指标）。

#### 4.2 空气中二氧化碳直接捕集关键技术合作研究（基础研究类）

研究内容：研究吸附材料特性与大气环境因素对空气中 CO<sub>2</sub> 吸附性能的影响机制，开发适用高气体通量的 CO<sub>2</sub> 先进吸附材料，建立空气中 CO<sub>2</sub> 直接捕集的传质—反应耦合强化方法，研发空气中 CO<sub>2</sub> 高效低能耗分离技术，研制空气中 CO<sub>2</sub> 直接捕集样机；开发空气中 CO<sub>2</sub> 捕集—转化的新型功能材料，建立与可再生能源耦合的空气中 CO<sub>2</sub> 直接捕集能质传递模型，研发空气中 CO<sub>2</sub> 直接捕集与可再生能源耦合技术，研制原理样机并完成验证。

考核指标（项目根据研究方向选择其中 1 套考核指标）：

（1）研发空气中 CO<sub>2</sub> 高效、低能耗分离技术，开发新型空气中 CO<sub>2</sub> 高效捕集材料 1~2 种并实现公斤级制备，在 30%~80% 大气相对湿度下吸附容量衰减波动 ≤20%，80% 湿度吸附容量不低于 1.5mol/kg，形成年百吨级技术验证样机 1 台，成型后的吸附剂再生热耗不高于 3.0GJ/tCO<sub>2</sub>。

（2）研发空气中 CO<sub>2</sub> 直接捕集与可再生能源耦合技术，开发空气中 CO<sub>2</sub> 捕集—转化新型功能材料 1~2 种，形成原理样机 1 台，能量转化效率不低于 15%。

关键词：空气；二氧化碳；直接捕集；可再生能源

拟支持项目数：2 项（空气中 CO<sub>2</sub> 直接捕集方向支持 1 项，与可再生能源耦合的空气中 CO<sub>2</sub> 直接捕集方向支持 1 项，申报项目应涵盖所选方向所对应的研究内容和考核指标）。

#### 4.3 二氧化碳分离用新型分子筛膜材料合作研究（基础研究类）

研究内容：研发共价有机框架、金属有机框架、自具微孔聚合物和多孔石墨烯等膜材料的可控合成、结构调控、精密构筑技术，研制高渗透性新型分子筛膜材料；研究膜内限域传质机理及构效关系，研究杂质气体对膜分离性能和稳定性的影响规律，研发 CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 高效膜分离技术，研制原理样机并完成验证。

考核指标（项目根据研究方向选择其中 1 套考核指标）：

（1）开发用于 CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 分离的新型分子筛膜材料，在 CO<sub>2</sub> 浓度为 10%~30%、温度为 25°C~60°C 条件下，CO<sub>2</sub> 渗透速率 ≥

5000GPU, CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>分离因子 $\geq 30$ , 形成原理样机 1 台, 运行 1000h 以上。

(2) 开发用于 H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 分离的新型分子筛膜材料, 在 CO<sub>2</sub> 浓度为 30%~50%、温度为 100°C~200°C 的模拟甲醇重整制氢测试条件下, H<sub>2</sub> 渗透速率 $\geq 4000$ GPU, H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 分离因子 $\geq 30$ , 形成原理样机 1 台, 运行 1000h 以上。

关键词: 二氧化碳分离; 新型分子筛膜; CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>

拟支持项目数: 2 项 (CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 分离方向支持 1 项, H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 分离方向支持 1 项, 申报项目应涵盖所选方向所对应的研究内容和考核指标)。

#### 4.4 用于二氧化碳吸收剂再生的高效催化材料及外场强化技术合作研究 (共性关键技术类)

研究内容: 研究 CO<sub>2</sub> 化学吸收剂的催化再生机理及反应动力学, 开发高稳定性、高活性催化再生材料及制备技术, 研发化学吸收剂高效再生技术与装备, 完成中试实验; 研究电磁波、声波等外场能量对 CO<sub>2</sub> 化学吸收剂再生的影响规律与调控机制, 开发外场强化的化学吸收剂再生技术, 研制原理样机并完成验证。

考核指标 (项目根据研究方向选择其中 1 套考核指标):

(1) 研发化学吸收剂再生催化材料 1~2 种, 再生热耗 $\leq 2.0$ GJ/tCO<sub>2</sub>; 完成中试验证, 烟气量 $\geq 500$ Nm<sup>3</sup>/h, 运行 1000h 以上。

(2) 研发化学吸收剂再生外场强化技术, 外场能量利用效率不低于 60%, 形成外场强化吸收剂再生系统 1 套; 完成中试验证,

烟气量 $\geq 100\text{Nm}^3/\text{h}$ ，再生能耗 $\leq 2.0\text{GJ}/\text{tCO}_2$ ，运行 1000h 以上。

关键词：二氧化碳；化学吸收剂再生；催化材料；外场强化

拟支持项目数：2 项（吸收剂催化再生技术方向支持 1 项，外场强化的吸收剂再生技术方向支持 1 项，申报项目应涵盖所选方向所对应的研究内容和考核指标）。

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

#### 4.5 二氧化碳催化转化制高值化学品及液体燃料合作研究(共性关键技术类)

研究内容：开展先进原位光谱表征技术研究，探究光/电/热多场耦合条件下  $\text{CO}_2$  吸附—活化、C-C 键偶联和多碳产物定向转化的表界面催化机理，揭示催化过程中多相多尺度反应动力学和产物调控机制，开发  $\text{CO}_2$  制高值化学品和液体燃料的新型高效催化材料；开展  $\text{CO}_2$  高效转化耦合产物分离集成技术研究，研制高效  $\text{CO}_2$  催化转化反应器，研发目标产物高效分离的关键技术，研制原理样机并完成验证。

考核指标（项目根据研究方向选择其中 1 套考核指标）：

(1) 研发新型催化剂 1~2 种，开发  $\text{CO}_2$  催化转化制低碳烯烃新工艺， $\text{CO}_2$  单程转化率 $\geq 50\%$ ，产物选择性 $\geq 50\%$ ，形成  $\text{CO}_2$  连续转化关键技术验证样机 1 台，运行 1000h 以上。

(2) 研发新型催化剂 1~2 种，开发  $\text{CO}_2$  催化转化制低碳醇新工艺， $\text{CO}_2$  单程转化率 $\geq 50\%$ ，产物选择性 $\geq 90\%$ ，形成  $\text{CO}_2$  连续转化关键技术验证样机 1 台，运行 1000h 以上。

(3) 开发 CO<sub>2</sub> 热催化反应与分离耦合技术，产物选择性 ≥ 90%，使低碳醇、低碳烯烃等目标产品的纯度 ≥ 90%，形成高效催化耦合产物分离集成技术验证样机 1 台，运行 1000h 以上。

关键词：二氧化碳转化；高效催化剂；高值化学品；液体燃料

拟支持项目数：3 项（光/电/热等催化转化制低碳烯烃、低碳醇技术方向各支持 1 项，热催化反应与分离耦合技术方向支持 1 项，申报项目应涵盖所选方向所对应的研究内容和考核指标）。

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

#### 4.6 跨行业 CCUS 源汇匹配技术合作研究（基础研究类）

研究内容：针对电力、钢铁、水泥、化工等重点工业行业排放源，构建基于工艺流程的点源碳足迹核算体系，编制高精度网格化二氧化碳排放清单，研发基于储层特性的海陆碳封存评估技术，开发跨行业点源尺度的 CCUS 源汇匹配技术。

考核指标：建立重点工业行业点源碳足迹核算体系 1 套，编制点源尺度二氧化碳排放清单 1 套，形成行业或团体标准 1 项以上；开发海陆碳封存潜力评估系统 1 套，分辨率不低于 5km×5km；形成跨行业 CCUS 点源尺度源汇匹配模型 1 个，在典型场景开展验证示范。

关键词：点源碳足迹；海陆封存；CCUS；源汇匹配

## 5. 氢能

### 5.1 安全低温氨分解制氢系统关键技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：面向液氨储氢在终端安全高效用氢的应用需求，重点突破以氨为安全高效液体燃料的安全低温氨分解制氢系统关键技术。具体包括：高性能、高稳定性新型低温氨分解制氢催化剂；新型低温氨分解制氢催化剂规模化制备技术；紧凑高效自热型氨制氢反应器技术；安全低温氨分解制氢系统示范应用。

考核指标：氨分解制氢催化剂在空速 $\geq 3000\text{L}/(\text{g}_{\text{cat}}\text{h})$ 、反应温度 $\leq 450^\circ\text{C}$ 下，氨分解率 $\geq 99\%$ ，催化剂贵金属含量 $\leq 2\text{wt}\%$ ，稳定运行 $\geq 1000\text{h}$ ；设计并建成年产吨级低温氨分解制氢催化剂生产线；采用开发的催化剂的自热式氨分解制氢反应器产氢速率 $\geq 100\text{Nm}^3/\text{h}$ ，单位体积反应器的产氢速率 $\geq 200\text{Nm}^3/(\text{m}^3\text{h})$ ，无电加热条件下氨分解率 $\geq 99\%$ ，产物气氨浓度 $\leq 0.5\%$ ，稳定运行 $\geq 1000\text{h}$ 。

关键词：氨；氨分解；制氢；催化剂；反应器

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

## 5.2 低贵金属酸性电解水制氢催化剂关键技术合作研发（基础研究类）

研究内容：针对 PEM 电解水制氢中析氧催化剂的贵金属成本高、储量低的问题，开展低贵金属、高稳定性的酸性电解水析氧催化剂的开发与机理研究。具体包括：研究新型低贵金属用量的酸性析氧催化剂的设计、合成与高一致性制备工艺，攻克高稳定性的催化剂界面和膜电极设计；建立高时空分辨率的酸性析氧催化剂原位表征方法，研究催化剂的表界面状态和本征活性机制；

研究启停和波动性工况下酸性析氧催化剂的失活机制及寿命提高策略。

考核指标：

(1) 膜电极活性面积 $\geq 500\text{cm}^2$ ，面电阻 $\leq 50\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ ，贵金属载量 $\leq 0.8\text{mg}/\text{cm}^2$ ，电解电压 $\leq 1.9\text{V}@2\text{A}/\text{cm}^2@60^\circ\text{C}$ 。

(2) 膜电极在  $60^\circ\text{C}$ 、 $1\text{A}/\text{cm}^2$  电流密度条件下，稳态运行 1000h，平均电压衰减率 $\leq 25\mu\text{V}/\text{h}$ ；在代表不少于三种新能源富集地区新能源出力特征的波动工况运行 1000h，平均电压衰减率 $\leq 50\mu\text{V}/\text{h}$ 。

(3) 催化剂单批次制备规模 $\geq 50\text{g}$ ，批次间活性差异 $\leq \pm 10\text{mV}@10\text{mA}/\text{cm}^2$ 。

(4) 发展 1 种催化剂原位表征方法和技术，时间精度 $\pm 1\text{ms}$ ，空间精度 $\pm 1\text{nm}$ 。

(5) 阐明启停和波动性工况下酸性析氧催化剂的失活机制。

关键词：PEM 电解水制氢；低贵金属；原位表征；失活机制

### 5.3 高温高导质子交换膜关键技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对以化工副产氢、裂解氢为燃料的质子交换膜燃料电池面临运行寿命短、性能低、关键材料制备技术有待突破等问题，开展高温质子交换膜燃料电池关键材料结构设计和制备自主化技术研究。具体包括：开展具有耐高温功能化侧链结构树脂的设计与理论研究；开发高稳定性、高机械强度和高离子交换容量的树脂制备及成膜技术；研究多质子传导结构相互作用机理、

不同电导基团对高温质子交换膜电导率的影响机制；开展高温质子交换膜离子簇微观结构与质子传导机制及稳定性构效关系研究；建立高温质子交换膜性能和寿命评测方法，形成高性能高温燃料电池质子交换膜工程化制造技术。

考核指标：

(1) 高温树脂分子量 $\geq 400000$ ，离子交换容量 $\geq 1.4\text{mmol/g}$ ，分解温度 $\geq 250^\circ\text{C}$ 。

(2) 高温质子交换膜工作温度  $120^\circ\text{C}\sim 200^\circ\text{C}$ ，质子电导率 $\geq 100\text{mS/cm}$ ，电导率 1000h 衰减 $\leq 20\%$ ，拉伸强度 $\geq 40\text{MPa}$ ，厚度 $\leq 60\mu\text{m}$ 。

(3) 氢气渗透电流 $\leq 2\text{mA/cm}^2$ ，膜电极性能 $\geq 0.6\text{V}@1\text{A/cm}^2$  ( $\geq 120^\circ\text{C}$ )，膜电极运行 500h 电流密度衰减 $\leq 10\%$  ( $@0.65\text{V}$ )。

(4) 高温质子交换膜宽幅 $\geq 400\text{mm}$ ，高温质子交换膜厚度偏差 $\leq \pm 1\mu\text{m}$ ，高温质子交换膜连续化生产能力 $\geq 50\text{m}$ 。

(5) 针对项目实施工况环境，制定寿命（耐久性）测评方案。

(6) 申请发明专利 2~4 项，培养人才 3~5 名。

关键词：离子交换容量；高温质子交换膜；质子电导率；稳定性

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

#### **5.4 固体氧化物电解堆能质传递转化合作研究（基础研究类）**

研究内容：针对高温固体氧化物电解堆性能快速提升对堆内局部特性表征、预测与调控的需求，开展固体氧化物电解堆能质

传输转化实验与理论研究。具体包括：电解堆电化学特性与多物理场分区原位表征方法研究；电解堆跨尺度多物理场耦合建模、快速求解与验证方法研究；电解堆多物理场均匀化调控与耦合增效机制研究。

考核指标：建立电解堆电化学阻抗与谐波特性、温度场特性分区测试装置，电池叠层数目 $\geq 4$ 片，单体电池面积 $\geq 80\text{cm}^2$ ，分区数 $\geq 12$ ，总电流在分区等电压约束下自动分配时，分区电压偏差 $\leq 50\text{mV}$ ，电堆内温度测点 $\geq 24$ ；构建新型电解堆三维跨尺度模型，求解时间 $\leq 20\text{min}$ ，局部伏安特性和温度预测误差 $\leq 10\%$ ；提出新型电解堆结构设计，电流密度 $\geq 0.6\text{A}/\text{cm}^2@ \leq 800^\circ\text{C}@1.3\text{V}$ ，蒸汽转化率 $\geq 75\%$ 。

关键词：固体氧化物电解；电化学原位表征；跨尺度建模；多场均匀化调控

### **5.5 面向产氢端的氢储存、纯化及增压一体化装备及工况条件下储氢材料寿命衰减机理合作研发（共性关键技术类）**

研究内容：探索低成本、长寿命储供氢材料化学计量比、元素取代和微观结构对储氢容量和氢压缩特性的影响机理，发展热力学与快速吸放氢动力学双调控方法，创制基于我国优势资源的低成本、长寿命储氢材料。开发面向电解水产氢端的集纯化、调压、控流于一体的氢储存增压装备与制备技术。揭示基于氢储存增压一体化装备的电解水产氢端杂质和动态氢压作用下储氢合金的毒化机制和循环衰减机理。

考核指标：

(1) 储氢材料在低于  $65^{\circ}\text{C}$  以下吸放氢密度  $\geq 2.0\text{wt}\%$ ，对  $0.1\text{MPa}$  放氢，有效可逆放氢容量  $\geq 1.85\text{wt}\%$ ，吸氢压力  $\leq 1.6\text{MPa}$ 、放氢压力  $\geq 3\text{MPa}$ ，供氢纯度满足燃料电池需求的纯度。储氢材料生产成本  $\leq 120$  元/kg。

(2) 揭示电解水产氢端杂质 ( $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{O}_2$  等) 和动态氢压作用下储氢合金的毒化机制和循环衰减机理，开发集纯化、调压、控流于一体的标准化与模块化氢储存增压装备与制备技术，储氢量  $\geq 5\text{kg}$ ，体积储氢密度  $> 40\text{kg}/\text{m}^3$ ，放氢速率  $500\text{L}/\text{min}$ ；经 3000 次吸放氢循环容量保持率  $\geq 80\%$ 。

关键词：储氢材料；装备制造；氢纯化；氢压缩；循环衰减

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1.5:1。

## 5.6 面向储能应用的高性能储氢新材料和新方法合作研究(基础研究类)

研究内容：研究氢与其他元素或物质之间的物理化学相互作用规律和机制，突破传统氢化物限制，创制较现有高容量储氢材料有显著成本优势的近室温可逆储氢材料和制备方法，阐明储氢机理与热力学/动力学特征，发展近常温高容量低成本储氢材料。揭示储氢材料可逆吸放氢过程中氢、热的传质传输及结构演变规律，外场作用效应和机理，为氢的高效储存和利用提供基础理论和技术支撑。按固态材料和液态介质各支持一个项目。

考核指标：储氢介质可在常温附近  $-40^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$  下可逆吸脱

氢，质量储氢密度 $>5\text{wt}\%$ ，体积储氢密度 $>50\text{kg}/\text{m}^3$ ，脱氢量 $\geq$ 吸氢量的 90%；开发一套可实现外场辅助的吸、放氢的原理模型装置。

关键词：储氢材料；储氢机理；储氢密度

拟支持项目数：2 项（固态材料、液态介质各支持 1 项）

### 5.7 面向长距离大规模纯氢和天然气掺氢运输系统的高参数长寿命及安全设计合作研究（共性关键技术类）

研究内容：面向国家和地方能源发展战略重大需求，针对当前长距离大规模纯氢和天然气掺氢运输的关键瓶颈，重点开展运输系统的高参数长寿命及本质安全设计。具体包括：高压输气管道临氢材料性能数据和影响因素；高压临氢结构损伤机制、失效模式预测和防氢脆设计方法；高性能损伤感知和气体泄漏感知技术，传感器优化布局和溯源技术；高压氢气、掺氢天然气泄漏燃爆机理和高效消氢防爆模式。

考核指标：高压输气管道纯氢/掺氢天然气输送压力 $\geq 7\text{MPa}$ ，并建立高压临氢材料性能数据库；氢气传感器室温响应最低检测限 1ppm，室温响应时间小于 3s；高压气体早期泄漏远距离可监测流量小于  $0.5\text{L}/\text{min}$ ，泄漏开始到探测预警的响应时间在 1s 以内；高压氢气、天然气/氢气泄漏燃爆事故影响范围、超压和热辐射预测精度 $\geq 90\%$ ；在运行压力范围内，防爆抑爆措施的常温消氢效率达到 90%以上，阻火效率达到 90%以上。申请发明专利 4 项以上，培养人才 6 名以上。

关键词：管道输氢；氢泄漏；临氢材料；传感器

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### 5.8 燃料电池用密封技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对氢燃料电池环境耐久后，电池出现串漏气和密封失效问题，探索耐受电池苛刻环境的密封材料和密封结构。通过探索电池内密封结构的新设计，减少需要密封的面积，同时利用新结构的设计和应用来确保长期循环和高低温可变负载条件下的气密性；通过不断探索新的材料体系和对密封材料进行进一步的结构优化，使得满足高温、高湿、耐酸等工作条件下数千小时以上的使用需求；通过模拟真实的电池工作参数和工况，降低组件开发和调试成本，缩短产品开发应用考察周期，节约成本。同时，通过模拟验证，对材料的实际工况进行寿命评估，研究实际工况参数对密封性能的影响，为预测燃料电池堆密封泄漏提供可靠的评估方法。

考核指标：电池内边框密封的粘接特性：剥离强度 $\geq 7\text{N/cm}$ ；耐久性：水热耐久性 $\geq 5000\text{h}$ （ $95^\circ\text{C}$ ， $100\%\text{RH}$ ），耐酸性 $\geq 5000\text{h}$ （ $95^\circ\text{C}$ ， $\text{PH}=2$  硫酸液），耐冷却液 $\geq 2500\text{h}$ （ $95^\circ\text{C}$ ，冷冻液）；离子溶出量： $\text{F}^- \leq 20\text{ppm}$ ， $\text{Cl}^- \leq 10\text{ppm}$ ， $\text{Fe}^{2+} \leq 10\text{ppm}$ ；热缩特性：热收缩率 $< 1.5\%$ （ $150^\circ\text{C}$ ， $30\text{min}$ ）；稳定性：厚度稳定性 $\geq 85\%$ （ $90^\circ\text{C}$ ， $500\text{h}$ ）；加工工艺：固化时间 $\leq 10\text{s}$ 。密封性：气密性 $\leq 0.5\text{sccm}$ ，渗氢电流密度 $\leq 15\text{mA/cm}^2$ 。

关键词：质子膜燃料电池；膜电极内密封；密封结构；材料

其他要求：项目由企业牵头申报。配套经费与国拨经费的比

例不低于 2:1。

### 5.9 中温快速变压吸附法氢纯化材料及过程优化合作研究(基础研究类)

研究内容：针对我国工业氢气中 CO、CO<sub>2</sub> 等杂质气体降低燃料电池寿命等问题，突破以低成本、紧凑化、定向除杂为特色的中温氢气净化核心材料与工艺机制，健全我国清洁化、低碳化、低成本的多源制氢体系。具体包括：CO、CO<sub>2</sub> 弱化学吸附位点构建及 CO、CO<sub>2</sub>、甲烷等含碳化合物的中温吸脱附特性；中温快速变压吸附关键阀门部件研制及其循环周期设计机制；新型吸附材料吸附解吸动力学与中温快速变压吸附制氢物质流—能量流的动态匹配规律；形成低成本、紧凑化、高收率的氢气分离与纯化新方法并实现小型样机运行。

考核指标：研制新型 CO、CO<sub>2</sub> 定向除杂吸附材料，CO、CO<sub>2</sub> 选择性（分离系数）分别达到  $\alpha(\text{CO}/\text{H}_2) \geq 60$ 、 $\alpha(\text{CO}_2/\text{H}_2) \geq 60$ ；快速变压吸附单个循环周期  $\leq 5\text{min}$  且吸附剂利用率（突破试验动态吸附量与饱和吸附量之比） $\geq 50\%$ ；中温快速变压吸附操作温度为 70~400℃；以 2 种典型工业富氢气体/工业副产氢为原料，经分离提纯后达到 GB/T37244-2018 所规定的燃料氢气技术指标；氢气分离与提纯总收率  $\geq 70\%$ ；将  $\geq 2\text{Nm}^3/\text{h}$  规模的上述原料气分离提纯至 GB/T37244-2018 所规定的燃料氢气技术指标对应总运行成本  $\leq 1.8$  元/kg H<sub>2</sub>。中外共同发表高水平研究论文 4~5 篇。

关键词：制氢；快速变压吸附；紧凑化；低成本

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

## 6. 微纳电子

### 6.1 低功耗、高集成体自旋轨道矩磁随机存储器合作研究（基础研究类）

研究内容：面向后摩尔时代对低功耗、高集成存储器的发展需求，突破功能材料、写入机理、器件结构和集成阵列等技术难题，为实现低功耗、高集成磁存储芯片研发奠定坚实基础。具体包括：开发 CMOS 工艺兼容的磁性功能材料，实现高效体自旋轨道矩；进一步开发能够打破翻转对称性的方法，实现无需外磁场辅助的全电控磁矩翻转；然后，设计并制备体自旋轨道矩磁隧道结，在保持高热稳定性的前提下持续微缩器件尺寸，同时实现高隧穿磁电阻比值和低临界电流密度下的亚纳秒信息写入；最后，优化膜堆沉积、器件加工工艺，改进微纳工艺的均一性，实现高集成磁隧道结阵列。

考核指标：体自旋轨道矩磁隧道结核心器件尺寸不大于 40nm，且该尺寸下热稳定因子不小于 150，隧穿磁电阻比值不低于 120%，实现全电控信息写入，翻转电流密度不高于  $50\text{MA}\cdot\text{cm}^{-2}$ ，信息写入时延小于 1ns，核心器件信息写入能耗小于 100fJ/bit，研发集成阵列，磁隧道结器件阵列规模不小于  $10\times 10$ 。

关键词：体自旋轨道矩；磁存储器；磁矩翻转；高集成；低功耗

## 6.2 基于阻变存储器的高能效三维点云数据处理芯片关键技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对现有边缘计算平台难于满足三维智能感知应用场景中对响应速度和计算能耗的需求，合作研究面向边缘点云学习应用的低延时、高能效平面阻变存储器芯片与高计算密度三维堆叠阻变存储器阵列；合作开发轻量化图神经网络模型与阻变存储芯片部署方法，建立模型与芯片性能评估仿真平台；合作开发点云学习边缘计算原型系统，开发阻变存储器件—算法—系统多层次协同优化技术，完成典型三维智能感知应用场景的功能验证。

考核指标：合作开发面向点云学习的平面和三维阻变存储器芯片，建立低延时、高密度、高能效点云学习硬件系统，完成至少 2 项点云学习三维智能感知应用场景的系统原型设计与功能验证。具体包括：开发基于 28nm 或更先进工艺的平面阻变存储器芯片，片上单器件平均能耗 $\leq 1\text{pJ}$ ，芯片内单元访问速度 $\leq 20\text{ns}$ ，循环寿命 $\geq 10^6$ 次，芯片规模 $\geq 10\text{Mb}$ ，能效 $\geq 50\text{TOPS/W}$ ；开发三维高密度阻变存储器阵列，三维堆叠层数 $\geq 8$ 层，阵列规模 $\geq 64\text{Kb}$ ，单次操作平均能耗 $\leq 0.1\text{pJ}$ ，计算密度 $\geq 10\text{TOPS/mm}^2$ ；建立面向平面和三维阻变存储器的点云学习图神经网络模型和芯片性能评估仿真平台；开发基于平面和三维阻变存储器芯片的点云学习硬件系统，针对典型点云学习任务（如 ModelNet40、ShapeNet-Part 等数据集），芯片系统分类识别精度不低于 93%，芯片系统分割交并比（IoU）不低于 83%。

关键词：阻变存储器；点云学习；图神经网络；智能感知

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### **6.3 DRAM 极高良率分析关键技术合作研究(共性关键技术类)**

研究内容：面向 DRAM 芯片工艺—设计协同优化流程 (DTCO) 中极高良率预测的需求，合作研究新型快速良率分析方法关键技术，包括海量设计参数空间采样策略、电路模型快速提取和硅后测试参数校准技术，重点突破高维、极高良率、小样本条件下的快速良率分析和校准，研究老化因素对 DRAM 单元的可靠性影响，支撑 DRAM 芯片良率和可靠性的快速提升。

考核指标：合作研制面向 DRAM 芯片极高良率分析 EDA 工具，支持 20nm 以下国产先进工艺，支持老化分析及可靠性建模，支持  $3\sim 8\sigma$  的良率评估分析，校准后精度不低于 95%，良率仿真方法比现有基于重要采样的方法在运行时间和内存用量上减少 50% 以上，应用于 DRAM 良率分析工具。

关键词：动态随机存储器 DRAM；良率分析；统计建模

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### **6.4 面向异构 RISC-V 硬件的编程框架和编译技术合作研究(共性关键技术类)**

研究内容：针对异构 RISC-V 硬件芯片的应用开发环境不成熟、编译效率低等问题，开展针对异构 RISC-V 硬件的高性能和高可用性的编程框架和编译技术。具体包括：构建一套 RISC-V 统一编程模型，从计算、并发、通信、数据重用、协同五个维度

刻画异构硬件芯片的差异特征，通过执行模型的抽象和编译器的设计，为上层软件开发者消除数异构芯片的编程障碍；研究硬件异构单元的计算调度技术，通过编译器自动识别矩阵、向量、标量等不同计算类型，在通用计算核心和异构加速器之间实现细粒度的动态计算调度，提升计算资源的利用率和计算并发性；研究硬件异构单元的数据管理技术，向开发者掩盖存算一体异构芯片的片上存储等硬件细节，通过编译分析获取不同计算任务的访存特征，优化不同核心之间的数据移动、数据切分。通过以上研究服务面向基于 RISC-V 的 SRAM 存算一体异构处理器开发，实现高能效异构边缘芯片的灵活编程和编译。

考核指标：提出一套面向 RISC-V 异构处理器的编程模型以及编译器技术，支持类 C/C++ 语言开发；支持 RISC-V 扩展指令 10 条以上，编译器实现普通指令到 RISC-V 扩展指令的自动映射；部署开发的编程框架和编译器到高能效异构边缘芯片 1 款以上，支持图像、语言模型等不少于 2 类 4 种主流应用；通过编译分析实现矩阵、向量、标量计算的动态计算调度和数据管理，和 TVM（版本 0.15）相比，实现应用能效的提高 20% 以上。

关键词：异构计算；编译技术；编程框架

其他要求：须有 2 个以上国家的合作单位参与。

## **6.5 无晶振超低功耗无线收发机芯片关键技术合作研究（共性关键技术类）**

研究内容：面向未来人工智能物联网芯片对超低成本和超低

能耗的需求，联合研发无晶振超低功耗全集成无线收发机芯片；研究具有温度补偿功能的高精度 RC 振荡器设计；研究高能效功能复用极坐标发射机技术；研究低功耗相位追踪接收机架构和射频唤醒技术；研究低电压超低功耗射频振荡器技术；研究低功耗频率综合器技术和低功耗量化噪声抑制技术；研究全集成超低损耗射频开关技术；通过以上合作研究，可为推动我国人工智能物联网的快速发展提供有效解决方案和技术支撑。

考核指标：基于 28nm 或更先进工艺，合作实现无晶振超低功耗全集成无线收发器芯片，采用收发单天线接口；RC 振荡器的频率漂移不高于 150ppm/°C；频率综合器工作频率覆盖 2.4~2.48GHz；发射机功耗不高于 2.5mW@0dBm，射频 0dBm 发射效率不低于 40%；接收机功耗不高于 1.5mW，灵敏度不高于 -93dBm；休眠功耗不高于 100nW。

关键词：超低功耗；无线收发机；频率综合器；无晶振

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

## 6.6 单片集成红外光谱传感芯片关键技术合作研究（基础研究类）

研究内容：针对红外光谱感知终端对小型化、低成本的需求，开发单片集成红外光谱传感芯片；研究宽谱红外光电探测器光谱响应精细调控机理和方法；研究红外探测器与读出电路单片集成后工艺；研究基于集成模数转换器（ADC）模块的读出电路；研究面向红外光谱感知的可片上集成的重构算法，构建多场景的硬

件演示系统。

考核指标：实现红外光谱传感芯片的单片集成，传感芯片光谱范围 900~3000nm，光谱分辨率优于 3nm；光谱感知动态范围  $\geq 10000:1$ ；片上 ADC 的有效位数  $\geq 14$  位；测量帧频  $\geq 30$  帧/秒；采用项目研制芯片的样机可满足深空探测、陆地资源遥感等高精密探测应用需求。

关键词：红外光谱传感芯片；单片集成；光电响应调控

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### 6.7 多组分智能识别微纳气体传感器关键技术合作研发（共性关键技术类）

研究内容：针对新能源汽车锂电池安全风险预警对多组分高灵敏、快响应微纳气体传感器的需求，研究低维半导体气敏材料及其复合结构的可控构筑与性能调控方法，研究敏感元件的硅基异质异构微纳制造工艺与阵列集成技术，研究多组分气体传感信号融合、特征提取与智能识别技术，研制用于锂电池热失控气体监测的多组分气体传感器，研发一套多组分智能识别气体原位检测装置，并在电动汽车应用验证。

考核指标：传感器可同时识别气体种类  $\geq 6$  种（包括但不限于 CO、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> 和 H<sub>2</sub>），检测下限  $\leq 5$ ppm，响应时间  $\leq 3$ s，误报率  $\leq 5\%$ ，封装后传感器阵列的体积  $\leq 2$ cm<sup>3</sup>。

关键词：气体传感器；微纳制造；锂电池热失控

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

## 6.8 多种重金属离子现场检测微流控传感阵列芯片合作研究 (基础研究类)

研究内容：针对环境监测对重金属离子现场快速检测技术与设备的迫切需求，研究可同时检测多种重金属离子的电化学传感方法，研究水体样本微流控快速预处理技术，研究电化学微传感器阵列与多通道微流体芯片的集成设计与跨尺度微纳加工工艺，研究多通道传感信号采集、处理方法，以及低功耗信号调理电路；研制多重金属离子现场快速检测传感器，并开展环境水体现场检测应用验证。

考核指标：建立多种重金属离子同时检测的电化学传感新方法，实现对水中汞、镉、砷、锌、铅、铜等至少 6 种重金属离子的同时检测，检出限 $\leq 1\mu\text{g/L}$ ，分析时间 $\leq 15\text{min}$ ，芯片尺寸 $\leq 5\text{cm}\times 10\text{cm}$ ，系统功耗 $\leq 5\text{W}$ ，传感阵列数 $\geq 3$ 。

关键词：重金属离子检测；微传感器；微流控；电化学

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

## 6.9 硅基光电融合集成互连关键技术合作研究(基础研究类)

研究内容：面向高速率、低功耗与高集成度的光通信与互连需求，合作研究硅基光电融合单片集成基础理论与关键技术。构建同平台光电混合信号建模与仿真新方法；研究 CMOS 工艺兼容的微米尺寸、高带宽硅光器件，协同设计高能效驱动、放大和调控电路；研究光路与电路片上集成技术，设计实现单片集成光互连收发芯片。

考核指标：电路设计平台兼容的光器件混合信号模型 1 套；CMOS 工艺单片光电集成收发芯片，双向带宽 $\geq 2\text{Tb/s}$ ，功耗 $\leq 5\text{pJ/bit}$ ，带宽密度 $\geq 100\text{Gbps/mm}^2$ 。

关键词：CMOS；光电融合；单片集成；收发芯片

### 6.10 基于锆钛酸铅薄膜的异质光子集成技术合作研究（基础研究类）

研究内容：面向高速光通信与互连应用需求，合作研究基于锆钛酸铅（PZT）薄膜的硅基异质光子集成技术，包括器件制备工艺、低损耗光波导、微环谐振型和马赫—曾德尔型电光调制器、多通道光互连阵列芯片，满足大容量、低延时与低功耗通信与互连需求。

考核指标：研发基于 PZT 薄膜的高效率、低成本光子集成芯片制备工艺流程，支持 4 英寸标准晶圆、成熟 ICP 刻蚀工艺的大规模制备，工作波长范围覆盖整个通信波段（即 O-L 波段），传输损耗 $\leq 1.5\text{dB/cm}$ ；微环调制器  $V\pi L \leq 0.5\text{V}\cdot\text{cm}$ ，消光比 $\geq 20\text{dB}$ ，单通道 OOK 调制速率 $\geq 100\text{GB/s}$ ，误码率 $\leq 10^{-5}$ ；开展四通道光互连集成芯片研究，芯片工作速率 $\geq 800\text{Gb/s}$ ，能耗效率 $\leq 1\text{pJ/bit}$ 。

关键词：锆钛酸铅（PZT）薄膜；高速电光调制器；光通信与光互连

### 6.11 光学模拟门器件与可编程智能光计算芯片合作研究（基础研究类）

研究内容：针对人工智能对高性能光学计算硬件的迫切需

求，合作研究光学模拟门计算新理论，探索基于光学模拟门单元器件的光学模拟计算新架构，研制可编程人工智能算法的光学模拟门计算处理器件，攻克可编程智能光计算芯片集成技术，开展基于可编程智能光计算集成芯片在大通量生物特征提取与提取中的应用验证。

考核指标：研制出基于光学模拟门器件的大规模可编程智能光计算集成芯片，计算内核数 $\geq 16$ ，单核矩阵运算规模 $\geq 4 \times 4$ ，计算精度 $\geq 5\text{bit}$ ，时钟 $\geq 5\text{GHz}$ ，计算速率 $\geq 2.56\text{TOPS}$ 。

关键词：光学模拟门；智能光计算集成芯片；可编程光计算架构

### **6.12 光子集成毫米波波束赋形技术研究（基础研究类）**

研究内容：面向下一代无线通讯等毫米波波束赋形的需求，针对大规模传统毫米波相共振天线的高功耗与窄带宽瓶颈问题开展合作研究。具体包括：研究光子集成毫米波波束赋形理论与架构设计；研究高能效、高功率、大带宽和可扩展的真延时光子波束赋形网络芯片；研究光/电、电/光转换器件、光子波束赋形网络、相共振天线等器件的光电混合集成；研究光子集成毫米波波束赋形芯片的封装集成技术及系统应用，完成典型应用示范。

考核指标：制出高性能集成光子波束赋形芯片，实现高效可扩展的线性真延时调控输出，通道数 $\geq 16$ ，可用带宽不低于 $15\text{GHz}$ ，偏转角数量 $\geq 32$ ；面向下一代无线通讯系统，实现工作频率不低于 $71\text{GHz}$ ，波束覆盖范围超过 $80^\circ$ ，波束偏转步长角 $\leq$

2.5°，支持单通道速率 100Gb/s 的微波光子波束赋形的毫米波无线通信系统。

关键词：波束赋形；光子集成；微波光子；毫米波通讯

## 7. 先进计算与软件

### 7.1 基于 RISC-V 指令集处理器的可信根关键技术合作研发（基础研究类）

研究内容：合作研究基于当前开源 RISC-V 处理器的可信根系统的操作理论、安全模型、威胁模型和攻击面，以及支持 TCM、物理不可克隆函数（PUF）技术的可信根架构、新型的可信根安全增强机制（包括系统隔离、数据保护、侧信道防御机制）、微结构安全设计等关键技术，发展高安全的基于 RISC-V 指令集处理器的可信根系统，促进自主可控开源 RISC-V 处理器在可信计算和机密计算等场景的部署和使用，推动云计算隐私性和安全性的进步。

考核指标：合作实现 3 项关键科学问题和关键技术的突破，包括：实现基于 RISC-V 处理器的内置硬件可信根，形成 FPGA 原型展示（或工艺的原理性验证芯片），支持国标 TCM 可信计算标准；具备有保障的微结构原生安全，对关键模块安全属性进行形式化方法辅助的严格设计验证，对指令集进行基于严格指令语义的微结构设计；具备安全增强机制，针对恶意指令或异常数据等攻击可以发现预警。

关键词：RISC-V；处理器；可信根；微结构；TCM；可信计

算；云安全

## 7.2 高性能视觉处理器芯片关键技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对机器视觉各种场景中出现的海量数据、目标快速移动产生的超高速视频、可见光及非可见光的多种视觉信息融合等问题，突破高性能视觉处理器中的关键共性技术，为能源电力、智能工业制造等行业提供视觉处理利器。具体包括：研究融合可见光、非可见光等多种视觉高清视觉编码技术，研究基于软件可定义的视频处理技术，研究融合多维视觉数据的处理器芯片架构设计，研究视觉信息处理软硬件协同设计，研究具有多种类别视觉数据 AI 分析推理的多维视觉信息处理器设计，研发智能化视觉处理器，具备高性能视觉处理、融合可见光及非可见光的视觉数据处理，视觉信息编码及画质增强与焦点渲染，并具备大容量视觉信息处理功能。

考核指标：研究多种视觉数据分析与融合技术，多视觉数据包含可见光，红外等至少两种视觉数据；研究多核并行视觉处理器，至少包含 8 路并行视觉数据处理；研究低功耗高速视觉处理器；研究高性能视觉处理技术，视频分辨率总像素处理能力达到亿级像素处理，达到 4K/8K 视频逐帧逐像素处理；研究具有 AI 计算引擎的视觉处理器，包含 20 种典型推理模型。

关键词：软件可定义的视频；机器视觉；视频编码与传输；视觉 AI 推理；画质增强

### **7.3 机器学习使能的新型缓存系统结构与关键技术合作研究 (基础研究类)**

研究内容：研究机器学习使能的新型缓存系统结构、I/O 访问感知的智能数据缓存准入与替换策略、面向数据内容认知的哈希生成方法与智能元数据组织管理方法、基于动态负载预测的存储资源智能分配与调度技术等，突破传统缓存系统由于无法进行数据内容认知和动态感知决策而造成性能瓶颈的难题，提高缓存系统非结构化数据内容管理能力以及缓存系统的优化和运行效率。

考核指标：合作研制基于学习的智能缓存原型系统，攻克缓存系统数据内容认知、动态感知决策难题，智能缓存准入策略一次访问排除率大于 80%、智能缓存替换策略的缓存命中率大于理论最优值的 90%，非结构化数据相似内容查询完成时间相较于 Spyglass、SmartStore 降低 2 个数量级，非结构化数据相似内容查询召回率大于 90%、错误率低于 10%，缓存资源利用率大于 80%。

关键词：机器学习；系统结构；元数据；智能缓存

### **7.4 在网计算技术的机制合作研究与验证（基础研究类）**

研究内容：围绕人工智能、大数据等多场景分布式应用的高速度、高承载、高敏捷计算传输需求，面向网络设备、网络协议栈、网络通信库的网络全栈系统，将分布式应用的计算功能融入到具有设备异构性的网络中。针对复杂协议设计、交换机资源受限、作业负载高动态、多场景应用适配、异构设备兼容等问题，

归纳和研发多场景应用中的在网计算基本算子，实现新算子对应用的运行速度提升；研究在网计算运行时作业调度、资源调度、路由算法等管理方法，实现集群对作业承载能力的提升；研究多场景分布式应用的统一开发框架，实现在网计算技术对多场景应用和多种异构网络设备敏捷开发的支持；研制包括网络全栈、开发框架、应用案例在内的系统原型；面向典型分布式应用场景展开组网验证，为垂直场景应用提供高速度、高承载、高敏捷的在网计算服务。

考核指标：形成支持多场景应用的在网计算解决方案；研制在网计算全栈系统，交换机容量不小于 **4Tbps**，设备端口速率支持 **400Gbps**；支持机器学习、大数据等不少于 **3** 个应用的加速、部署和开发，支持多应用实例间隔离，应用实例间相互影响程度小于 **1%**；研制在网计算应用的运行时的交换机资源调度策略、路由策略与任务调度策略，支持对不少于 **3** 种调度策略的正确性验证，支持不低于 **99%** 的平均任务满足率，任务分配算法在支持网络规模达 **1** 万节点时能够在 **10** 秒内完成全局任务资源调度；研制面向异构网络环境的在网计算开发技术，支持不少于 **4** 种异构网络设备，减少应用开发的工作量；组网验证覆盖目标领域的 **3** 个典型场景，支持不少于 **3** 种计算传输模式，单节点流量转发平均时延小于 **100** 微秒，任务分配器具有支持终端数量不少于 **1** 万台的能力。

关键词：多场景应用；分布式系统；在网计算

## 7.5 硅基相变光卷积加速器关键技术联合研究（基础研究类）

研究内容：针对电学卷积神经网络中卷积运算处理速度和功耗的限制问题，研究基于硅—相变材料异质集成的光学卷积加速器关键技术，实现超低功耗卷积运算。具体包括：联合研究基于硅—相变材料的光学卷积神经网络的可拓展可重构构架，研究基于模拟卷积运算的容错训练方法；研究低功耗非易失电致可重构光加权机理、硅基相变光卷积加速器芯片设计和制备工艺，探索与光电、电光转换器件单片集成的工艺方案；研究光域卷积运算与电域数据存储、非线性处理等系统协同优化问题，开展基于硅—相变材料的光学卷积加速器的高性能卷积神经网络模型和仿真验证。

考核指标：联合解决基于硅—相变材料异质集成的光卷积加速器关键技术，突破硅基—相变材料光加权运算单元重构精度，CMOS 后端工艺兼容光卷积加速芯片制备工艺和硅基相变光卷积神经网络模型架构等关键问题。硅—相变材料异质集成加权单元：光学对比度 $>20\text{dB}$ ，权重控制精度 7bit；基于硅—相变材料光学卷积加速器神经网络仿真模型：模型阵列规模 $\geq 9\times 9$ ，图像识别准确率 $>96\%$ 。加速器核心算力 $\geq 2.43\text{TOPS}$ ，核心能效 $\geq 2\text{TOPS/W}$ 。

关键词：相变材料；硅基光电子；卷积加速器

## 7.6 面向大规模高性能计算平台的性能分析与故障检测联合研究（基础研究类）

研究内容：面向大规模高性能计算平台，研发高精度、轻

量级性能分析与故障检测的理论和方法，支持大型复杂应用软件在高性能计算机系统上稳定和可靠地运行。具体包括：针对性能异常及性能瓶颈，构建基于负载特征和体系结构的高性能计算性能评价模型，研究性能瓶颈的产生机理与传播耦合机制；研制静态与动态分析相结合的高精度性能分析框架和工具，支持非侵入式轻量级透明监控和跨平台“白盒化”动态分析，实现大规模分布式程序的自动性能建模和分析；基于分布式调用链追踪和上下文环境信息构建实时故障检测和异常根因定位工具，对网络、服务器、存储等关键指标的显性和隐性异常性能数据进行高效诊断。

考核指标：联合研制一套适用于大规模高性能计算平台的性能分析与故障检测框架和开源工具集，具备轻量化性能建模、白盒化动态分析以及智能故障根因定位能力，在至少 2 种不同体系结构的大规模高性能国产计算平台上完成部署，取得至少 5 家用户的试用证明，用户满意率不低于 90%；高精度性能分析工具提供高层编程模型，将基本代码和分析代码进行隔离，能够自动生成分析代码，利用动态代码插桩技术将分析代码离线或在线注入应用程序，引入的额外开销不超过 5%；分布式故障检测和异常根因定位工具支持毫秒级采样率，并支持采样数据稀疏表示与跨平台动态自适应采样，能够支持软硬件性能瓶颈分析、性能干扰分析、故障定位与预测、故障根因诊断等功能。

关键词：性能评价模型；白盒化动态分析；故障根因定位

## 7.7 湖仓融合架构下海量数据处理技术合作研究（共性关键技术）

研究内容：针对湖仓融合架构下多模态数据一体化管理所面临的效能与扩展性问题展开研究。具体包括：合作研究面向结构化、半结构化以及非结构化数据一体化的元数据建模与管理方法；研究面向商业分析、机器学习等多种类混合分析任务的高效处理方法；研究湖仓融合架构下低开销的数据一致性保障方法；研究任务特征驱动的按需资源调度管理机制。

考核指标：支持包括表格数据、JSON、图数据、文本、图片、视频等多种数据类型的一体化分布式元数据管理；针对 TB 级别结构化数据，单一查询响应时间小于 500ms；针对半结构与非结构化数据，查询响应时间小于 5s；结构化数据的稳定事务吞吐量不低于 20000tps，在单一数据集合规模为 GB 的条件下，数据载入延迟不超过 1.25s，数据转化处理延时不超过 10s；在数据集合数量超 10000，数据总量 TB 级别的条件下，实现秒级别的任务关联数据集检索，支持不少于 6 种跨模态数据模式混合分析算法，执行调度性能相较于单一模态调度提升 20%以上，CPU 资源利用率提升 15%以上，并形成湖仓融合架构下的多模态数据管理系统。

关键词：湖仓融合；事务处理；数据分析；数据仓库；数据湖

## 7.8 高时空通量医学数据精细尺度分析与安全共享关键技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：发展面向高时空通量医学数据多源、多模态和时

空复杂关联等特点的精细尺度分析算法和端到端流程，挖掘数据的高时空分辨率精细特征；依托高性能计算中心开发基于 Spark 分布式并行计算框架实现高时空通量医学数据的深度精细分析算法，提供易用的数据存取、分析和可视化工具；构建以联邦学习为基础的隐私计算技术体系，在国家相关法规许可框架下实现高时空通量医学数据的跨国跨机构共享与安全计算；多国合作形成符合国家法律法规的高时空通量医学数据分析与共享的关键技术相关规范并提议国际技术标准。

考核指标：发展一套可分析处理高时空通量医学数据的算法和流程，主要包括数据清洗、数据预处理、特征挖掘和机器学习模型构建等步骤，支持包括影像数据（如高场多模态磁共振影像）、电生理数据（如高密度脑电图）和组学数据在内的 6 种以上常见的多种模态的高时空通量医学数据；影像数据分析的空间精度达到像素体素最小单位级别，电生理信号分析的时间精度达到毫秒级别；提供一套面向多国机构的高时空通量医学数据分析和可视化工具及云平台，使用机构 10 家以上（其中国外机构不少于 3 家），针对疾病 5 种以上，处理数据规模 100PB 以上；实现基于内存隔离的安全模型训练，并承载每秒 100Gbit 以上终端认证流量；提出一个基于分布式联邦学习的隐私计算体系，满足跨国合作场景下多种隐私技术动态组合的需求，实现安全聚合并对聚合的完整性进行校验，将完整性校验的客户端计算复杂度达到  $O(d)$ ，其中  $d$  为模型参数量，同时精度损失在 5% 以内；在国家

相关法规许可框架下形成一组高时空通量医学数据分析与安全共享的安全关键技术相关规范并提议一项国际技术标准（草案）。

关键词：医学大数据；高通量计算；数据挖掘；数据安全；隐私计算

### 7.9 面向可信的混源软件成分分析关键技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对混源软件成分复杂、依赖不清、风险不可控的问题，突破混源软件的成分分析关键技术，保障其可信性。具体包括：研究大规模代码库的构建技术，实现海量代码的高效获取、存储与更新；研究混源软件的成分分析技术，支持代码级（包括源代码与二进制代码）分析，实现代码特征的高效提取与匹配，识别混源软件中使用的软件包成分；研究混源软件的可信建模与分析技术，量化并保障混源软件的可信性。

考核指标：代码库覆盖 C/C++、C#、Java、Python、JavaScript、Go、Rust、PHP 等 8 种主流编程语言，覆盖 800 万个软件包的源代码；混源软件的源代码级成分分析的准确率达到 90% 以上，二进制代码级成分分析的准确率达到 80% 以上，并支持上述的 8 种主流编程语言；支持混源软件的自研率、安全漏洞、许可证合规等风险的分析，准确率达到 90% 以上。

关键词：混源软件；软件成分分析；可信保障分析

### 7.10 面向通用编译器的性能调优及其故障检测关键技术合作研究（基础研究类）

研究内容：面向系统软件的性能和质量两个需求，研究面向通用编译器的性能调优和故障检测理论。研究面向通用编译器需求规约文档的提取和分析方法，自动识别通用编译器的性能和功能需求；研究基于规约分析的编译器性能调优方法，提升编译后程序的性能（执行时间和代码规模）；研究基于语义不保持变异的编译器测试输入生成方法，提升编译器故障触发能力；研究基于语义不保持变异的编译器故障定位方法，包括测试输入化简和定位等。

考核指标：开发一种面向通用编译器的性能调优和故障检测工具原型集。在 GCC 12 上，标准数据集 cBench 上超过 60% 程序的执行加速（针对系统默认配置-O3）提升 10%，将 GCC 编译器文件故障定位准确度（top-10）提高到 75%。

关键词：通用编译器；性能调优；故障触发和定位

### 7.11 高效鲁棒的参数曲线曲面求交理论合作研究(基础研究类)

研究内容：合作研究参数曲面交曲线的拓扑结构分类理论、拓扑稳定的曲面求交技术、水密性曲面求交技术、高精度低数据量的交曲线参数化技术、递归求交过程中的累积误差分析理论和容差控制方法、交线上特殊交点（如尖点、自交点、孤立交点、切点等）的求解方法、曲面间重合检测技术、曲面间快速碰撞检测技术以及各种求交算法的加速技术。

考核指标：总体目标是合作研究并实现拓扑稳定、高精度、高效、容差可控的曲面求交理论和技术，切实满足船舶或其他典

型应用行业的求交需求。具体包括：（1）交曲线拓扑预测正确且求解正确；（2）百米模型的求交精度 $<0.1$  毫米；（3）能够支持百万级别零件的模型设计；（4）千级控制点模型的平均求交时间 $<100\text{ms}$ ，十万级控制点模型的平均求交时间 $<15\text{s}$ ；（5）在国产三维 CAD 软件中进行技术集成验证。

关键词：拓扑分类；交曲线参数化；误差分析；重合检测；高精度；加速技术

### 7.12 高端装备制造全过程的复杂系统建模与业务互联方法合作研究（基础研究类）

研究内容：合作研究高端装备制造全过程的全要素结构化模型框架技术，以及制造系统的需求模型、能力模型、架构模型统一构建方法，构建基于系统工程的集成产品研发多领域本体模型；提出结合领域物理规律的模型框架，建立高端装备典型零部件在结构、流体、传热等多领域预测的轻量化替代模型和训练方法；研究制造装备、产品设计软件、管控软件、业务管理软件等之间的业务互联方法，突破基于共享模型和标准数据的业务流程自动化构建技术。

考核指标：面向高端装备制造典型应用示范场景，开展模型和方法架构的有效性验证，将行业表象需求量化成产品设计需求的比例提升 20%，支持统一建模的制造要素种类不少于 10 种，轻量化验证模型计算效率平均提升 5 倍以上，计算平均精确性提升 10%，对业务的数据智能化处理比率提升到 80%，业务流程合

规性检查准确率 $\geq 90\%$ 。

关键词：制造全过程；统一建模；轻量化敏捷验证；业务互联；流程自动构建

## 8. 第三代半导体材料

### 8.1 基于氮化镓单晶衬底的 Micro-LED 材料外延与芯片合作研究（基础研究类）

研究内容：研究氮化镓单晶衬底上同质外延和界面控制，研究不同极性面上结构设计和缺陷控制方法；研究不同铟组分铟镓氮量子阱的结构设计、外延生长及其缺陷、应力演变机制和波长均匀性变化规律；研究不同注入水平下的载流子输运和复合机制，研究导热界面及散热途径；研究不同发光波长的超小尺寸垂直 Micro-LED 器件制备技术和器件效率、可靠性提升方法；研究量子点色转换，CMOS 集成和微透镜阵列制备，研究多波长高速光通信技术，探索基于氮化镓单晶衬底的 Micro-LED 器件在微显示和可见光通信等领域的应用。

考核指标：同质外延氮化镓薄膜缺陷密度 $< 10^7$ /平方厘米；铟镓氮量子阱发光波长从 450 纳米到 650 纳米可调；氮化镓基 Micro-LED 器件尺寸 $< 10$  微米，峰值效率：蓝光 $\geq 20\%$ 、绿光 $\geq 15\%$ 、红光 $\geq 5\%$ ；单色 Micro-LED 微显示原型器件像素密度 $\geq 5000$  像素每英寸，发光亮度 $\geq 10000$  尼特；Micro-LED 光通信芯片的 3 分贝带宽 $\geq 2$  吉赫兹，基于 Micro-LED 的通信系统数据传输速率 $\geq 10$  吉比特每秒；申请发明专利 $\geq 5$  件。

关键词：Micro-LED；氮化镓衬底；波长调控；微显示；可见光通信

## 8.2 氮化镓基光电集成信息处理与传输芯片合作研究（基础研究类）

研究内容：研究氮化镓基 CMOS 逻辑电路与模拟电路实现方法；研究氮化镓基多量子阱二极管发光探测调制共存机制和光子回路单片集成方法；研究氮化镓基电子电路与光子回路的兼容性制备工艺；研究多功能氮化镓基光电集成芯片的设计与测试方法，构建片内信息处理与传输系统。

考核指标：氮化镓基光电集成芯片具备信号逻辑运算、驱动、光发射、光调制、光传输、光耦合、光接收、信号放大功能，单氮化镓芯片上器件数量 $\geq 30$ 个，集成器件种类 $\geq 6$ 种；片内信息传输速率 $\geq 600$ 兆比特/秒；可见光波段的氮化镓光波导损耗 $< 2$ 分贝/厘米；晶体管阈值电压绝对值在1~3伏可调；驱动NMOS的输出电流 $\geq 10$ 毫安，关态漏源击穿电压 $\geq 100$ 伏，关态泄漏电流 $< 1$ 微安，沟道载流子迁移率 $\geq 100$ 平方厘米/（伏·秒）；申请发明专利 $\geq 5$ 件。

关键词：氮化镓；光电集成；量子阱二极管；CMOS逻辑电路

## 8.3 同步辐射 X 射线原位表征氮化物半导体外延生长动力学合作研究（基础研究类）

研究内容：研究氮化物半导体异质界面的微观构造机制以及缺陷形成机理；研究氮化镓表面两种原子级台阶对铟镓氮和铝镓

氮三元合金组分均匀性的影响规律；研究氮化镓衬底的不同方位角和倾角对铟镓氮和铝镓氮异质外延生长过程中铟或铝并入机制的影响规律；研究高铝组分铝镓氮合金的外延生长动力学及其调控规律；研究高铟组分铟镓氮合金的相分离机制。

考核指标：原位相干 X 射线测量技术在时间和空间分辨率上分别达到 1 微秒和 0.1 纳米；可定量测量铟或铝在氮化镓两种原子台阶上附着速率常数差异；可定量测量不同方位角（0.5~20 度）和倾角（0.1~1 度）氮化镓衬底上铟镓氮和铝镓氮外延过程中的铟（5%~40%）或铝（40%~80%）组分；揭示铟镓氮和铝镓氮异质外延生长过程中铟或铝的并入规律；金刚石衬底上氮化镓外延薄膜位错密度 $<10^8$ /平方厘米，表面粗糙度 $<1$  纳米。申请发明专利 $\geq 5$  件。

关键词：X 射线原位表征；氮化镓；铟镓氮；铝镓氮；生长动力学

#### **8.4 高效率氮化镓基双向开关功率电子器件合作研究（基础研究类）**

研究内容：研究双向开关氮化镓基功率电子器件用外延材料高质量、高均匀性生长技术；研究新型单沟道和多沟道低导通电阻、高耐压氮化镓基双向开关高电子迁移率晶体管的结构设计和制备关键技术；研究具有一定电压电流过载能力的氮化镓基双向开关器件结构及材料关键技术；研究氮化镓基双向器件的阈值电压稳定性和动态特性。

考核指标：实现 4~6 英寸单沟道和多沟道氮化镓基双向开关功率器件用外延材料高均匀性生长，方块电阻浮动 $<5\%$ ；实现新型高耐压、低导通电阻氮化镓基双向开关功率器件，双向耐压均 $\geq 3$  千伏，单个器件双向导通电阻均 $<300$  毫欧； $dV/dt > 80$  伏/纳秒；50 千瓦负载电力电子电路系统中，器件效率大于 98%；申请发明专利 $\geq 5$  件。

关键词：氮化镓；双向开关；功率器件；效率

### 8.5 与硅 CMOS 工艺兼容的氮化镓基太赫兹晶体管关键技术合作研究（基础研究类）

研究内容：针对太赫兹移动通信系统对低成本、高性能半导体电子元器件的需求，开展与硅 CMOS 工艺兼容的氮化镓基太赫兹晶体管关键技术研究，包括低电磁损耗高阻硅衬底上氮化镓基材料外延技术、工作在太赫兹频段的氮化镓基异质结构和晶体管的协同优化设计、与硅 CMOS 工艺兼容的太赫兹硅衬底上氮化镓基晶体管关键工艺制备技术，研制出工作在太赫兹频段的低射频损耗硅衬底上氮化镓基异质结构和晶体管。

考核指标：低射频损耗衬底上氮化镓基异质结构方块电阻 $<210$  欧姆每方块，140 吉赫兹时硅衬底上氮化镓材料射频损耗 $<1.2$  分贝/毫米；研制出与硅 CMOS 工艺兼容的硅衬底上氮化镓基晶体管，截止频率 $\geq 350$  吉赫兹，最高振荡频率 $\geq 450$  吉赫兹；申请发明专利 $\geq 5$  件。

关键词：太赫兹；氮化镓；硅衬底；硅 CMOS 工艺；射频损耗

### 8.6.8 英寸硅衬底上氮化镓基异质集成关键技术和器件合作研究（共性关键技术类）

研究内容：研究 8 英寸硅衬底上氮化镓基异质晶圆间键合、解键合及薄膜转移技术；研究 8 英寸氮化镓—硅晶圆间的键合互联技术；研究低电容、低漏电及高耐压的衬底隔离技术；研究硅衬底上氮化镓基异质集成功率电子器件的电学、热学性质和可靠性。

考核指标：实现 8 英寸硅衬底上氮化镓—硅晶圆间的低温键合（ $<200$  摄氏度）；键合互联晶圆对准误差 $<1$  微米（间距 3 微米）；衬底隔离电容 $<70$  皮法，隔离漏电 $<0.1$  皮安，器件硬击穿电压 $\geq 800$  伏特；实现基于异质集成技术的增强型 GaN 基功率电子器件，阈值电压 $\geq 2.0$  伏特，导通电阻 $<1$  欧姆·厘米，关态漏电@650 伏特 $<0.1$  纳安/毫米。

关键词：氮化镓；异质集成；晶圆键合；功率电子器件

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### 8.7 液相法生长碳化硅单晶技术合作研究（基础研究类）

研究内容：研究碳化硅单晶的液相法生长过程中，晶体生长的热力学和动力学过程以及高温熔体性质的影响规律；研究晶体生长过程中包裹物和位错等缺陷的形成机理和消除途径、晶型控制方法、应力消除等关键技术；针对液相法生长的碳化硅单晶衬底的表面质量、面型参数等，研究高效、低损的晶片加工技术和面型以及表面粗糙度控制技术。

考核指标：液相法生长的碳化硅单晶尺寸 $\geq 6$  英寸，晶体厚

度 $\geq 10$  毫米，单一晶型比例 $\geq 95\%$ ，使用面积 $\geq 90\%$ ，晶锭轴向和径向掺杂均匀性 $\geq 90\%$ ，X 射线摇摆曲线的半峰宽 $< 50$  弧秒；碳化硅单晶衬底片总厚度偏差 $< 15$  微米，弯曲度 $< 25$  微米，翘曲度 $< 30$  微米，表面粗糙度 $< 0.3$  纳米，大于 0.3 微米缺陷颗粒密度 $< 0.5$  个/平方厘米，衬底微管密度 $< 0.1$  个/平方厘米；p 型电阻率小于 0.1 欧姆·厘米，n 型电阻率小于 0.05 欧姆·厘米。申请发明专利 $\geq 5$  件。

关键词：碳化硅单晶；液相生长；高温熔体性质；缺陷

### 8.8 大尺寸碳化硅单晶中位错行为机理和位错控制技术合作研究（基础研究类）

研究内容：研究物理气相输运法生长 6~8 英寸碳化硅单晶过程中位错的产生、演变机制和降低位错密度的关键技术；研究液相法生长 4~6 英寸碳化硅单晶过程中位错的产生、演变机制和降低位错密度的关键技术；研究 6~8 英寸碳化硅薄膜同质外延过程中位错的遗传、产生和演变机制及降低基平面位错密度的关键技术；研究碳化硅单晶和外延薄膜中位错影响载流子输运行为的机理和对功率电子器件可靠性的影响规律。

考核指标：物理气相传输法生长的 6 英寸碳化硅单晶的总位错密度 $< 1000$ /平方厘米，贯穿型螺位错和基平面位错密度分别 $< 100$ /平方厘米和 $< 300$ /平方厘米；物理气相传输法生长的 8 英寸单晶总位错密度 $< 2000$ /平方厘米，贯穿型螺位错和基平面位错密度分别 $< 500$ /平方厘米和 $< 1000$ /平方厘米；实现 100%基平面位错

转变的碳化硅同质外延工艺，6英寸外延薄膜总位错密度 $<800$ /平方厘米，8英寸外延薄膜总位错密度 $<1600$ /平方厘米；1.2千伏电压等级碳化硅结势垒肖特基二极管经过275摄氏度、60小时空气环境存储应力后，肖特基势垒高度、理想因子和导通电阻变化 $<3\%$ ；申请发明专利 $\geq 5$ 件。

关键词：碳化硅；位错；单晶生长；单晶外延

### **8.9 大尺寸碳化硅单晶激光切割和剥离关键技术合作研究(共性关键技术类)**

研究内容：研究大尺寸碳化硅单晶体快速加工、低材料损耗激光切割和晶片剥离关键技术；研究提升晶片切割成品率的激光加工关键工艺，探索碳化硅性能与晶片切割技术的关联规律，研究碳化硅去除、晶片剥离的物理过程和机理，推进激光切割和剥离碳化硅晶片加工技术的产业化。

考核指标：通过激光切割、剥离的4~6英寸碳化硅晶片厚度 $<400$ 微米，8英寸晶片厚度 $<500$ 微米，切缝宽度 $<20$ 微米；碳化硅单晶的平均加工损耗厚度 $<30$ 微米/片，6英寸单晶每片切割时间 $<20$ 分钟，8英寸每片切割时间 $<35$ 分钟，晶片表面粗糙度 $<5$ 微米，弯曲度 $<30$ 微米，总厚度偏差 $<20$ 微米，损伤层深度 $<20$ 微米，表面裂纹深度最大值与损伤层深度之比 $<80\%$ ；申请发明专利 $\geq 5$ 件。

关键词：碳化硅单晶；激光切割；晶片剥离；加工损耗

其他要求：项目由企业牵头申报。配套经费与国拨经费的比

例不低于 1:1。

### **8.10 基于掺杂调控与缺陷工程的氧化镓功率电子器件合作研究（基础研究类）**

研究内容：研究氧化镓材料中载流子浓度调控机理与氧化镓功率电子器件工艺方案，研究氧化镓功率电子器件相关的隔离、高阻终端、电流阻挡层等功能材料；研究低电阻率氧化镓的原位掺杂机理、镓空位的共生效应及调控机理；研究高击穿电压氧化镓器件结构中关键缺陷类型与抑制方案；研究氧化镓功率电子器件的电场和载流子输运调控机理。

考核指标：实现垂直型氧化镓准反型晶体管，击穿电压 $\geq 1000$  伏特，阈值电压 $\geq 3$  伏特；实现高耐压、低损耗氧化镓肖特基二极管，击穿电压 $\geq 3000$  伏特，比导通电阻 $< 7$  毫欧·平方厘米；建立氧化镓材料中镓空位的形成和调控模型，揭示材料缺陷与器件失效的关联规律，建立氧化镓功率电子器件的热电解析模型；申请发明专利 $\geq 5$  件。

关键词：氧化镓；功率电子器件；缺陷工程；载流子输运

### **8.11 氧化镓单片功率电子集成器件合作研究（基础研究类）**

研究内容：研究氧化镓衬底晶片低损伤、低翘曲化学机械抛光技术；研究氧化镓横向功率电子器件用材料高质量外延技术；探索氧化镓晶体管阈值电压调控技术，研究栅介质界面态控制技术和栅失效机理；研究氧化镓驱动电路中低压二极管的设计和制备，探索氧化镓反相器中上拉/下拉电路的设计参数；研究基于氧

化镓高耐压常关型晶体管、低压二极管、反相器和电容器的单片集成技术。

考核指标：2 英寸氧化镓衬底晶片表面粗糙度 $<0.2$  纳米，翘曲度 $<8$  微米；横向器件用氧化镓外延片 XRD 摇摆曲线半高宽 $<100$  角秒，表面粗糙度 $<2$  纳米；实现氧化镓常关型高耐压晶体管，关态击穿电压 $\geq 2000$  伏特，欧姆接触电阻 $<1$  欧姆·厘米，开关电流比 $\geq 10^6$ ，阈值电压 0~5V 范围可调；实现氧化镓高压晶体管、低压二极管、反相器和电容器的单片集成，其中氧化镓基二极管整流开关电流比 $\geq 10^6$ ，氧化镓反相器门电路的开关阈值电压 $\geq 1$  伏特；申请发明专利 $\geq 5$  件。

关键词：氧化镓横向电子器件；常关型晶体管；二极管；反相器

### 8.12 宽禁带半导体器件和电路封装互连中纳米材料热压烧结技术合作研究（基础研究类）

研究内容：研究宽禁带半导体器件和电路封装互连中纳米金属热压烧结技术；综合运用多尺度多物理场模拟和先进表征技术，研究烧结条件对纳米金属烧结体性能的影响规律，揭示烧结条件促进纳米金属烧结质量的机理，构建物理意义明确的纳米金属材料烧结体等效模型，并进行实际服役工况验证。

考核指标：分别建立纳米银或纳米铜烧结过程分子动力学模型、纳米银或纳米铜烧结过程的相场模型、烧结件等效随机孔隙模型，基于该模型的孔隙率预测值与同步辐射测量值之间的误差

$\leq 10\%$ ；纳米银或纳米铜烧结互连孔隙率 $< 10\%$ ，导热率 $\geq 210\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，剪切强度 $\geq 45$ 兆帕@芯片面积 $5\times 5\text{mm}^2$ ；制定技术标准 1 项，申请发明专利 $\geq 5$  件。

关键词：宽禁带半导体封装；互连材料；纳米金属材料烧结；多尺度多物理场模拟

## 9. 激光技术及应用

### 9.1 基于量子—经典关联的激光超振荡技术合作研究（基础研究类）

研究内容：面向高精度测量、超分辨成像、高精度粒子微操控等应用对于突破光学衍射极限、连续可调谐的激光超振荡技术的需求，开展基于量子—经典关联的激光超振荡光场调控机理、压缩态激光超振荡光场的定制和连续可调谐技术、压缩态激光超振荡光场的应用验证研究，实现超振荡激光光场的压缩度、激光光斑尺寸、激光局域波矢峰宽的连续可调谐，生成从波长到亚波长尺度的连续可调谐光学势阱，完成对于微尺度单粒子的捕获和操控应用验证。

考核指标：超振荡光场压缩度的连续可调谐范围不小于 $0\sim 0.5$ ；超振荡激光光斑尺寸的连续可调谐范围不小于 $1/2\sim 1$ 个波长；超振荡激光局域波矢峰宽的连续可调谐范围不小于 $1/100\sim 1/10$ 个波长；超振荡激光光场的能量效率不小于 $50\%$ ；超振荡光学势阱尺寸的连续可调谐范围不小于 $1/2\sim 1$ 个波长，并实现亚波长尺度单粒子的捕获和操控。申请发明专利不少于 3 件。

关键词：超振荡激光；量子—经典关联；压缩态

## 9.2 面向深空极端环境的新型弹性体材料激光增材制造技术合作研究（基础研究类）

研究内容：针对深空极端环境下复杂空间构型的轻量化高性能弹性体材料重大应用需求，开展新型弹性体材料复杂薄壁异形曲面构型激光增材制造研究，实现多维度大容量复杂二维/三维光场调控算法，揭示大幅面激光并行加工快速成形原理，调控弹性体光子限域反应提高其加工精度，研究深空极端环境下不同环境变量对弹性体材料微观结构、力学性能以及分子链段运动性质的影响规律及机制。研发高效、稳定调控复杂空间构型弹性体材料及超构材料性能方法及关键装置，进行空间环境应用载荷的关键零部件设计与应用场景验证。

考核指标：研制复杂空间构型弹性体材料性能调控工艺与装备，建立激光动态传输与弹性体材料相互作用的光、热、应力应变多物理场耦合模型，建立二维/三维大容量光场调控算法及模型，增材制造弹性体材料导热系数 $\leq 0.25\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，拉伸强度 $\geq 55\text{MPa}$ ，断裂伸长率 $\geq 280\%$ ，脆性温度 $\leq -90^\circ\text{C}$ ，紫外辐照强度下降 $\leq 20\%$ （剂量 $\geq 1.5\text{kcal}/\text{cm}^2$ ），真空质损 $\leq 1\%$ ，可凝挥发物 $\leq 0.1\%$ ，三周期极小曲面孔隙率 $\geq 80\%$ （壁厚 $\leq 2\text{mm}$ ），弹性范围内最大承载力 $\geq 3.5\text{kN}$ 。申请发明专利 6~10 项。

关键词：深空极端环境；弹性体增材制造；光场调控；柔性承载

### 9.3 半导体产业关键材料激光三维精密加工技术合作研究(基础研究类)

研究内容：针对高性能半导体器件对三维复杂精密结构和高密度集成的制造需求，开展半导体产业关键材料激光三维精密加工技术合作研究。研究窄带隙、非线性等材料特性对激光聚焦过程的影响机制，连续测量激光诱导材料瞬时局部电子动态及折射率变化，揭示激光聚焦过程中非线性畸变产生机理和调控规律；开发基于时/空/频域多维度激光整形的加工新方法，克服激光聚焦过程电子屏蔽、非线性畸变等难题，实现典型材料（硅、砷化镓、铌酸锂）的三维高精度加工；研究异形微通道、多层超构光学元件、高密度微纳阵列等特殊三维结构的加工工艺，应用于芯片散热、红外智能成像、三维光子晶体等关键结构的制造。

考核指标：焦点处三维光场强度测量精度优于 100nm，硅材料内部自由电子密度测量灵敏度优于  $10^{16}\text{cm}^{-3}$ ；表面无损伤的前提下，硅内部加工的深度可达 500 $\mu\text{m}$  以上，且分辨率优于光学衍射极限，铌酸锂功能结构加工精度优于 100nm；硅内部异形微通道半径优于 100 $\mu\text{m}$ ，内壁承压值优于 10MPa；硅基多层超构光学元件层数不少于 4 层；铌酸锂微孔阵列密度优于 500nm。申请发明专利 8~12 项。

关键词：三维半导体器件；激光三维加工；非线性畸变

### 9.4 激光复合喷涂高速沉积技术合作研究（基础研究类）

研究内容：针对能源、冶金、电力电子等领域中关键部件的

高效制造及失效部件增材再制造需求，研发激光复合喷涂高速沉积技术，研究热—力耦合作用下的粉末材料沉积行为与沉积层微观组织特征，研发开放环境下钴基、镍基、钛基等合金及其复合材料的高效沉积方法；研究激光耦合对冷喷涂塑性变形沉积颗粒回复再结晶以及界面结合机制的影响，揭示激光原位热处理诱导动态再结晶机制；研究成果在能源、冶金、电力电子等领域中关键部件增材再制造中开展应用验证。

考核指标：研发激光复合喷涂高速沉积关键技术，研制超音速送粉喷嘴、激光光学系统以及光路/粉路同步耦合单元等关键部件，获得 Ni60、Stellite-6、TC4 等合金及其复合材料的高速沉积工艺和组织调控方法，材料沉积效率 $\geq 100\text{g/min}$ ，钛合金孔隙率 $\leq 1\%$ ，再制造层热影响区 $\leq 10\mu\text{m}$ ；金属沉积层动态再结晶晶粒尺寸 $\leq 1\mu\text{m}$ ；在叶片、阀门等关键典型件中应用验证。申请发明专利 $\geq 5$ 项。

关键词：激光；高速沉积；增材再制造；复合

### 9.5 高能皮秒拍瓦激光品质提升及其应用合作研究（基础研究类）

研究内容：面向激光粒子加速应用对高能皮秒拍瓦激光高品质需求，合作研究高能高效宽带低噪声放大与非线性脉冲压缩技术，实现多束线激光一体化放大与光谱拓展；合作研究多路皮秒激光时空调控与高精度耦合技术，实现多路皮秒拍瓦激光相干合束；合作研究等离子体光学时空性能提升技术，实现高聚焦功率

密度、高脉冲信噪比的高能皮秒拍瓦激光输出；合作研究皮秒拍瓦激光加速产生高品质粒子源技术，实现关键物理参数瞬态诊断能力提升，推动高能量密度物理前沿发展。

考核指标：激光放大光光转换量子效率达到 80%，实现皮秒脉宽 2 倍谱宽拓展；多路皮秒激光远场耦合相干合束效率达到 90%；聚焦功率密度达到  $10^{21}\text{W}/\text{cm}^2$ ，信噪比优于  $10^{12}$ ；激光加速质子截止能量达到 100MeV，质子产额大于  $10^{12}$ 。与多个国家开展合作，构建国际性研究团队，申请发明专利 3 项以上，召开高功率激光物理国际交流研讨会 1 次以上。

关键词：高能皮秒拍瓦激光；激光时空特性；激光粒子加速

### **9.6 极紫外激光干涉光刻技术合作开发（共性关键技术类）**

研究内容：针对光刻胶感光度与图形化能力的测试难题，开展极紫外激光干涉光刻技术研究。具体包括：研发高准直性极紫外激光源，研究低损耗极紫外相干分光技术，高效率极紫外光束偏折技术，高对比度干涉图样优化设计，实现纳米级干涉抖动抑制技术。开发高效率、高数值孔径的极紫外干涉光刻技术与装置。

考核指标：极紫外光源功率  $\geq 0.5\text{mW}$ ，极紫外光源发散角  $\leq 5\text{mrad}$ ，极紫外干涉光刻激光波长  $\leq 50\text{nm}$ ，极紫外干涉光刻装置光束偏转损耗  $\leq 30\%$ ，极紫外干涉装置数值孔径：NA  $\geq 0.33$ ，光刻胶干涉光刻图样周期  $\leq 1.5\lambda$ 。申请发明专利  $\geq 5$  项。

关键词：极紫外激光；高次谐波；干涉光刻；光刻胶

## 9.7 高功率、高损伤阈值声光偏转器合作研发（共性关键技术类）

研究内容：针对高功率、高重复频率超快激光精密制造中对提升加工精度和效率的迫切需求，重点研究高损伤阈值声光材料宽频带超声波产生和相控阵超声跟踪技术、阵列形超声换能器的封装与宽带阻抗匹配技术、高功率相控阵宽带射频驱动源功率均衡与实时调控技术、高功率超声射频源的相位动态锁定和高频切换技术，实现高重频超快激光脉冲的高速、高精度无惯性矢量、随机二维扫描，完成高功率、高损伤阈值声光偏转器的小批量试制。

考核指标：研制出高功率、高损伤阈值声光偏转器，偏转激光波长：355nm、343nm；承受激光功率 $\geq 50\text{W}$ ；可控激光脉冲重复频率 $\geq 500\text{kHz}$ ；损伤阈值 $\geq 500\text{MW}/\text{cm}^2$ （355nm、343nm）；驻波比（VSWR） $\leq 1.8$ ；扫描带宽 $\geq 80\text{MHz}$ ；扫描速率 $\geq 500\text{rad/s}$ ；扫描精度 $\leq 1\mu\text{rad}$ ；带宽范围内衍射效率不低于75%；具备矢量扫描、随机扫描等功能。实现销售10台（套）及以上，申请发明专利3项及以上；形成企业标准1项以上。

关键词：激光；声光偏转；扫描；损伤阈值

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于1:1。

## 9.8 高功率高相干金刚石激光技术合作研发（共性关键技术类）

研究内容：面向高功率高相干激光器在遥感、相干通信等领域的应用，针对传统粒子数反转激光器难以兼顾功率提升、波长拓展和高相干性的问题，开展以具有宽光谱透过范围、高热导率

和高非线性增益系数的金刚石晶体为增益介质的高功率高相干激光技术研究，实现金刚石激光器高功率运转下的效率提升、光束质量控制、噪声抑制和热管理，推动金刚石激光器性能的全面提升和产业化应用。

考核指标：分别实现单频和 $\geq 3$ 阶多波长运转；输出连续功率 $\geq 100\text{W}$ ，热平衡态峰值功率 $\geq 5\text{kW}$ ，瞬态峰值功率 $\geq 1\text{MW}$ （脉冲宽度 $\leq 10\text{ns}$ ），级联阶次运转的各波长功率差不大于总输出功率的10%；泵浦光转换效率 $\geq 30\%$ ，斜率效率 $\geq 70\%$ ；光束质量因子 $M^2 \leq 1.3$ ；近场发散角 $\leq 1\text{mrad}$ ，且各波长之间发散角偏差 $\leq 0.2\text{mrad}$ ；单频运转线宽 $\leq 5\text{kHz}$ ，多波长运转线宽 $\leq 30\text{GHz}$ ；单频运转信噪比 $\geq 70\text{dB}$ ，多波长运转信噪比 $\geq 60\text{dB}$ ；组织金刚石激光技术国际研讨会1次；申请发明专利5项。

关键词：金刚石；高功率；高相干；多波长；级联

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于1:1。

### **9.9 生物组织窝洞激光低损伤精准成型关键技术合作研发(共性关键技术类)**

研究内容：针对颅颌面外科、骨科、皮肤科等领域的精准医疗技术需求，合作研究激光—液—汽—热—固多场耦合的非均质骨组织窝洞激光成型机理、激光与生物组织作用过程的能量转化与传递机理、激光消融人体组织热损伤演化机理，以及适应口腔、骨科或皮肤等手术操作的光路系统及核心元器件、非均质软组织/骨组织消融工艺参数优化及自适应控制、组织切割/打孔精度保障

等关键技术，研发适应狭窄手术操作空间的小型化激光窝洞成型原理样机。

考核指标：合作研发一套面向临床应用的生物组织激光低损伤精准消融关键技术及原理样机，研制激光光路系统及核心元器件；激光波长 2.0~3.0 $\mu\text{m}$ ，适应生物组织吸收峰，最大脉冲能量  $\geq 2900\text{mJ}$ ，最小脉宽  $\leq 70\mu\text{s}$ ，功率稳定性（8 小时）优于  $\pm 2\%$ ；骨组织穿透深度  $\leq 1\text{mm}$ ，骨壁热损伤厚度  $\leq 0.5\text{mm}$ ；激光制备单个窝洞（ $\text{O}4\text{mm}\times 10\text{mm}$ ）耗时  $\leq 3$  分钟，窝洞成型圆柱度误差  $\leq 0.05\text{mm}$ 、直径误差  $\leq 0.05\text{mm}$ 、深度误差  $\leq 0.1\text{mm}$ ，组织低热损伤需满足钛合金植入（动物）三个月后的骨结合成功率  $\geq 95\%$ ；完成的同种动物实验验证  $\geq 10$  例；申请发明专利  $\geq 5$  项。

关键词：生物组织；激光精准成型；窝洞；多场耦合

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### 9.10 重频大能量激光技术合作研发（共性关键技术类）

研究内容：面向聚变能源应用等需求，在成熟的单次激光驱动器基础上，突破高效、重频、大能量激光的热管理、光束质量控制和高效能量提取等关键技术，并演示重频能量百/千焦耳级的纳秒激光输出能力，形成可定标的放大能力。开展重频大能量激光的设计模型研究，建立重频大能量脉冲激光的综合仿真能力，包括热管理分析模型、流场数值仿真模型、泵浦模型、光束传输放大模型和效率传递模型等；合作研究激光钕玻璃中钕离子在激光放大过程中的能级跃迁过程和热产生机理，建立玻璃成分与激

光钕玻璃增益相关参数及热畸变相关参数间的关系，发展面向大能量重频激光应用的低热畸变钕玻璃材料；合作研究重频大能量脉冲激光关键技术，发展高性能激光头、波前主动补偿、激光隔离等技术；研究高效紧凑的放大构型，开展重频大能量激光的束线级集成演示，解决高效能量提取问题。

考核指标：重频大能量激光系统，激光脉冲宽度 1~20ns、输出能量大于 2kJ、重复率不低于 1 发/分钟（或是 200J/10Hz）。重频大能量的隔离器，支持在百焦耳级能量、千瓦级平均功率下运转，隔离比达到 30dB。低热畸变钕玻璃材料，30~100°C 温度范围，热膨胀系数  $\leq 16 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ ；50~100°C 温度范围，折射率温度系数  $\leq -90 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ ，热光系数  $\leq -15 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 。开展国际合作，构建国际性研究团队，申请发明专利 3 项以上，召开高功率激光物理国际交流研讨会 1 次以上。

关键词：聚变能；重频大能量激光；高效放大构型；低热畸变增益介质

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### **9.11 基于量子剪裁效应的高增益放大光纤关键技术合作研发（基础研究类）**

研究内容：面向低成本大功率激光器应用需求，针对传统有源放大光纤在 980~1200nm 波段的发展瓶颈，开展基于量子剪裁效应的短波长泵浦激发放大光纤的高增益光放大机制、量子剪裁能量转化与传递机理、光放大路径优化技术等研究，实现低成本、

高增益、低阈值的放大光纤。

考核指标：泵浦光源激发波长 400~600nm；量子剪裁荧光量子效率大于 150%；光纤放大增益大于 30dB，饱和输出功率不小于 10dBm；泵浦阈值小于 1mW。申请发明专利 10 件。

关键词：量子剪裁；高增益；有源放大光纤；大功率激光器

### 9.12 激光轧辊毛化装备合作研发与应用（应用示范类）

研究内容：针对汽车、家电、电子和轻工业生产需求的毛化冷轧薄板，研究开发轧辊激光毛化技术与装备。重点攻克高功率高速激光调制器、多光束并行毛化技术、轧辊激光毛化点和毛化面纹理无序形貌技术、激光轧辊毛化装备集成技术，优化激光轧辊毛化参数和工艺，提高毛化轧辊质量，针对不同辊径，不同轧制板材的具体需求，开发出对应的工艺数据库，加工的毛化轧辊在冷轧薄板生产线上进行应用示范，推动高端激光毛化装备在国内外的普及应用。

考核指标：研制出高端激光轧辊毛化装备，激光功率 $\geq 1500\text{W}$ ；调制频率 $\geq 100\text{kHz}$ ；激光调制器工作波长为 1030~1080nm，承受功率 $\geq 1500\text{W}$ ；轧辊毛化效率 $\geq 1.5\text{m}^2/\text{h}$ （ $\geq 2$  激光毛化头）；螺距/点距可调范围：50~150 $\mu\text{m}$ ，控制精度误差 $\leq 10\mu\text{m}$ ；轧辊毛化质量：轧辊达到无序毛化麻面，表面无色差；轧辊表面平均粗糙度（ $R_a$ ）均匀性 $\pm 4\%$ （不含仪器误差）；平均粗糙度（ $R_a$ ）：0.5~15 $\mu\text{m}$ ；粗糙度峰计数（ $R_{pc}$ ）：70~160；粗糙度偏斜（ $R_{sk}$ ）：-0.5~0.5；轧制后钢板表面平均粗糙度（ $R_a$ ）：0.5~1.5 $\mu\text{m}$ 。实现销售 $\geq 5$  台（套），形成

企业标准 $\geq 1$ 项；申请发明专利 $\geq 3$ 项。

关键词：激光；调制；轧辊；毛化

其他要求：项目由企业牵头申报。配套经费与国拨经费的比例不低于 2:1。

## 10. 人工智能

### 10.1 开放环境中模型复用的机器学习关键技术合作研发（基础研究类）

研究内容：合作研究规约引导与数据引导的模型复用和管理技术，产生快速检索模型、准确匹配模型、高效复用模型、自动对齐规约的技术方法，提高模型的可复用性、可扩展性、可维护性，减少应用场景模型的训练时间和成本，形成数据受限场景中高效率、低成本地获得有效机器学习模型的能力，为构建产业智能化模型基座提供支撑。

考核指标：合作实现开放环境中模型复用关键技术的突破，产生模型匹配、复用、规约修正的算法，在 3 种应用场景中完成 30 个可复用模型的构建，在 3 个代表性有限数据机器学习任务上，对任务相关模型的检索，召回率不低于 80%时，精确率不低于 60%；样本不超过 1000 例的情况下，模型复用训练的时长不超过 24 小时；与从零开始训练模型相比，模型复用可使这 3 个任务的错误率降低 20%以上。

关键词：机器学习；模型复用；迁移学习；元学习；小样本学习

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

## 10.2 大模型概念学习理论和方法关键技术合作研发（基础研究类）

研究内容：合作研究结果可信任、模型可解释、学习可持续的大模型学习关键技术，建立正向推理、反向验证和多指标影响关系相结合的概念学习自我评估策略，实现大模型能力来源的机理分析，实现原型驱动的预训练模型可控方法，有效连接人类语义空间和大模型的潜在语义空间，构建任务可扩展、数据可增量、知识可推理的持续概念学习技术体系，提升大模型在动态、复杂场景下的可塑性和稳定性。

考核指标：针对大规模预训练语言模型，设计反事实生成和基于人工标注的模型可解释性评估方法，在不降低模型准确率的前提下，所提出方法在可解释性量化指标上的提升不低于 10%；设计综合平均精度和平均遗忘率的持续学习能力评价指标，所提出的方法相较于微调基线模型在精度指标提升不低于 5%时，遗忘率指标不高于 10%；通过代码生成评估模型逻辑能力，生成代码的缺陷减少 30%以上；开源学习数据、模型和软件框架，开源代码在国内平台上的下载次数/打星数不低于 1000。

关键词：大模型；可信模型；概念学习；可解释性；持续学习

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

## 10.3 面向具身智能的主动因果推理合作研究（基础研究类）

研究内容：合作研究具身智能规划任务中如何更高效地与环

境交互，推断物体状态改变和动作行为间的因果关系，理清溯因机理和决策机理；研究物体操作中最优干预策略以及理解决策意图指标，使智能体更高效地掌握机器参数与被操作物体间的物理规律、实现不同意图的有效决策；研究集归纳、演绎、溯因复杂环境组合的主动因果发现算法，使得智能体具备因果结构网络的推理能力；建立有效的思维链机制，提升大语言模型在具体场景下因果关系的推理和预测能力。

考核指标：相比较信息增益方法，将因果发现任务中的干预效率提升 30%以上；在 **Functional Manipulation Benchmark (FMP)** 等基准上将智能体在新环境下的迁移能力提升 20%以上，智能体目标达标率提升 50%以上；在 **CausalWorld** 等数据集中将物体操作执行成功率提升 30%以上；在大规模仿真数据集下，因果关系网络推断的 F1-score 达到 90%以上；在 **Virtualhome** 等数据集中，将大语言模型智能体对人的决策支持率提高 50%以上。

关键词：具身智能；干预策略；因果发现；因果推理；大语言模型

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

#### **10.4 大模型记忆和生成机理合作研究（基础研究类）**

研究内容：合作研究大模型的学习和泛化机理，深入刻画各类先进大模型的学习过程，建立表征学习与迁移理论，建立大规模预训练与下游泛化之间的理论关联，揭示自注意力、多头注意力、前馈全连接层等模块与表征学习之间的深层关联；合作探索

大模型“涌现”“顿悟”“幻觉”等现象的理论解释，研究神经标度律的适用边界，提出大模型能力预测方法，根据训练数据量、模型参数量和优化设定精准预测模型的泛化性能；合作研究生成式大模型的工作机理，从随机生成和条件生成的角度建立随机性、记忆和生成之间的理论关联，探索模型世界表征能力评估方法，研究大模型记忆量化和训练数据抽取方法，研究可控生成、水印和生成内容检测技术，确保大模型的安全可控应用。

考核指标：提出表征学习和泛化理论 1 套，可以统一至少 2 种现有机器学习理论，并对至少 3 个经典深度学习现象（如顿悟、迁移、过度参数化等）提供合理解释；提出大模型能力预测方法 1 个，在 ImageNet、CC3M 等标准数据集上对预训练模型的下游平均泛化性能预测误差在 5% 以内；提出生成扩散模型记忆与生成理论 1 套，并基于理论提出至少 1 个设计记忆量化和训练数据抽取算法，在 CIFAR-10 或 CelebA 等标准数据集上，抽取成功率达到 1% 以上，即平均每 100 张抽取图片中就含有 1 张原始训练图像。

关键词：大模型；神经标度律；记忆机理；生成机理

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### **10.5 大模型的多元价值观对齐理论及关键技术合作研究（基础研究类）**

研究内容：研究大模型的多元价值观对齐理论及其关键技术；以中文语言为核心的价值观的定义、分类体系及数据范式（文

本、图谱等)；合作标注价值观分类体系相关的数据，研究相应的文本和行为价值观自动识别算法；开展基于价值观体系的研究，包括但不限于群体道德、个体心理等，探索自然语言处理技术在人类认知层面解释的可行性；基于价值观的可控生成和风格迁移技术，研究各层面的大模型价值观对齐方法，促使大语言模型与人类在法律法规、道德、伦理等价值观等层面常识推理的一致；探索相关技术在心理健康的落地实践，提供精准、温暖且价值观正确的心理疏导，以及推进技术在教育等领域的运用；推进国际合作进行多元文化人群的差异性研究。

考核指标：参与制定大模型多元价值观对齐的国家或行业标准；提出 1 套多元价值观定义及数据标注规范；与不少于 1 个国家（含地区、国际组织）合作，构建 5 套面向多元价值观对齐的数据集，对不少于 20 个主流大模型（开源与闭源）开展价值观的评测；提出 1 套面向文本多元价值观对齐的算法；提供 1 套大语言模型多元价值观对齐评测方案；在心理健康和教育学等交叉学科中有典型应用和结论，撰写国家或省部级咨询报告并被采纳；在自然语言处理顶级会议价值观方向发表高水平论文（ACL、EMNLP 等）10 篇以上，并在该领域国际顶级会议中组织大模型多元价值观对齐相关主题的 Workshop，提高项目成果的国际影响力。

关键词：大语言模型；多元价值观；价值观对齐

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

## **10.6 面向大模型鲁棒性的因果学习理论及关键技术合作研究（基础研究类）**

研究内容：合作研究基于因果范式的无偏数据构建，从数据层面保障大模型训练的精确性；研究因果逻辑增强的通用语义表示方法，面向复杂任务构造因果链条，改进大模型的思维链机制，提升大模型性能；研究融合因果知识的自然语言建模，构造因果大模型，从基座模型角度提升大模型性能；研究因果机制引导的自然语言处理评测体系，从因果论角度评测大模型性能。

考核指标：与不少于 1 个国家（含地区、国际组织）合作提供基于因果范式的无偏数据集 1 套；构建因果大模型，与 GPT 4.0 等通用大模型相比因果知识获取及因果推理能力提升至少 5%；提出 1 套因果机制引导的自然语言处理评测体系及评测数据集，数据集至少包含 5 万个测试样例；在 2 种以上典型应用场景中对理论研究成果进行验证。

关键词：大语言模型；因果范式；鲁棒性

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

## **10.7 面向存算一体人工智能芯片的架构自动搜索关键技术合作研究（基础研究类）**

研究内容：研究适用于不同算力需求、能效需求的存算一体人工智能芯片架构，以此为基础建立具有概括上述广泛芯片架构的、可配置架构参数的存算一体芯片架构模板，构建架构搜索的设计空间；研究人工智能模型在存算一体芯片上的映射方法，分

析算法的浮点—整数等精度需求，提取模型的网络结构和稀疏性特征，可以针对高算力、高能效等不同的设计目标来优化模型中各个算子在芯片上的资源分配和计算顺序；研究存算一体芯片的架构搜索工具，包括硬件设计空间和算法调度空间的自动搜索算法，在设定的芯片面积、功耗约束下，自动生成适用于目标人工智能模型的存算一体单元结构指标和芯片架构参数。

考核指标：研发 1 套可配置的参数化存算一体人工智能芯片模拟器，可以准确仿真学术界和工业界前沿存算一体芯片；研发 1 套面向存算一体架构的人工智能算法映射工具，支持主流神经网络映射，包括 BERT、Swin Transformer、Mixtral 8x7B 等；研发 1 套存算一体芯片的架构自动搜索框架，搜索出的存算一体芯片需能够支持 BERT、Swin Transformer、Mixtral 8x7B 等主流神经网络，芯片级别仿真峰值能效  $\geq 25\text{TOPS/W@INT8}$ ， $\geq 2\text{TOPS/W@FP32}$ 。

关键词：存算一体；人工智能芯片；架构搜索

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### **10.8 面向人工智能大模型的高算力存算一体芯片关键技术合作研究（基础研究类）**

研究内容：研发适用于高算力场景的兼顾能效、精度、灵活性的存算一体宏单元，可以根据大模型中不同类型的算子需求定制专门的宏单元结构，并且支持高精度整数和浮点等多种计算精度；研究支持大模型多种网络结构和多层次稀疏的存算一体阵列

架构，以支持大模型因结构和稀疏而产生的多样化资源需求和数据流；研究面向人工智能大模型的高算力存算一体芯片软硬件协同设计方法，对大模型的稀疏模式和数据流进行对存算一体架构感知的规范化处理，以提升在存算一体芯片上部署大模型的性能和能效。

考核指标：研发 1 种可支持高精度整数和浮点等多种计算精度、支持多种存算比的高能效存算一体宏单元，宏单元级别峰值能效 $\geq 50\text{TOPS/W@INT8}$ ， $\geq 5\text{TOPS/W@FP32}$ ；研发 1 款支持大模型推理的存算一体芯片，芯片级别峰值能效 $\geq 30\text{TOPS/W@INT8}$ ， $\geq 3\text{TOPS/W@FP32}$ ，该存算一体芯片该支持多种主流人工智能大模型（BERT、Mixtral 8x7B 等）；研发 1 套面向大模型的存算一体芯片调度编译工具，支持对主流大模型进行混合精度量化、多层次稀疏化、调度空间探索；在企业中建立示范性应用，允许软件层嵌入到现有的计算芯片生态系统中开发者使用的编程语言和框架，该架构所提供的软件接口设计能够与多种操作系统、编程环境和开发工具顺畅衔接。

关键词：大模型；存算一体；人工智能芯片

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### **10.9 面向自动驾驶的大模型跨模态高效泛化微调关键技术合作研发（共性关键技术类）**

研究内容：针对多种下游任务对大模型的广泛需求，合作研究大模型跨模态高效泛化微调关键技术，将单一视觉模态上预训

练的大模型迁移到多种模态与下游任务，并在自动驾驶中进行验证。实现 2D 预训练大模型的 3D 范式升级，针对 3D 点云、脉冲视觉信号等多种模态进行高效泛化微调，实现不同模态（2D、3D、脉冲信号）间的转化与兼容，提升自动驾驶系统对于典型困难场景和异常案例的学习能力，在长尾场景中具备强泛化视觉感知能力；针对不同国家多语种、新路标等问题，研究基于端云协作高效微调的持续泛化学习，利用大语言模型引导视觉知识蒸馏，降低在不同国家地区的训练时间和成本，推动自动驾驶大模型在不同国家的部署落地。

考核指标：合作研发大模型高效泛化微调框架，使模型具备接受多种模态输入、执行多种任务的能力；在自动驾驶场景中实现具有强泛化性的多模态多任务大模型；在 2D 数据预训练的基础上，设计针对 3D 点云、脉冲视觉信号等多种其他模态的高效泛化微调算法，只使用少量训练数据（不超过 1%原始训练数据），微调少量网络参数（不超过 1%网络参数），即可使大模型具备对其他模态的感知能力，实现不同视觉模态（2D 图像、3D 点云、脉冲视觉信号）间的转化与兼容，在各模态下的多种任务评测指标（准确率、F1 分数、回归误差等）相比传统微调方法提升至少 10%；在长尾场景与典型危险场景（高速运动、鬼探头等）中实现准确泛化感知；针对不同国家和地区的驾驶环境，构建统一评价基准；在至少一个自动驾驶高级别示范园区进行应用验证，测试总距离不少于 4 万千米；组织 3 次国际顶尖研讨会并发布相关

模型及应用示范效果，提高项目成果的国际影响力；中外联合发表高水平论文不少于 3 篇，受理/授权发明专利不少于 2 项。

关键词：自动驾驶；大模型；跨模态微调；参数高效微调；持续泛化学习

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### **10.10 面向生物多样性保护的人工智能技术合作研发（共性关键技术类）**

研究内容：研究生物多样性数据集构建方法，构建覆盖个体、生境以及区域的多尺度生物多样性领域数据集（包括文本、图片、声音、视频等数据类型）；研究专业知识驱动的大模型继续训练与微调关键技术，构建生物多样性专业领域大模型；开展基于生物多样性大模型生物多样性保护研究，研究基于大模型的多源异构数据融合与保护决策内容生成技术，提高生物多样性保护工作的智慧化水平；开展生物多样性领域大模型应用示范工作，促进人工智能技术赋能全球生物多样性保护工作的开展，为实现“人与自然和谐共生”的 2050 愿景和《生物多样性公约》目标作出贡献。

考核指标：与不少于 1 个国家（含地区、国际组织）合作；构建 1 套生物多样性领域数据集，包括文本、图片、声音、视频等模态，规模不少于 50 万条；研发 1 个生物多样性专业领域大模型，参数规模不少于 7B；开展生物多样性大模型在生物多样性保护领域的应用示范，示范地不少于 3 个，产出应用示范报告不

少于 3 份，结合示范地历史监测数据产出保护决策建议书不少于 3 份；组织该领域国际学术研讨会不少于 2 次，提高项目成果的国际影响力。

关键词：生物多样性大模型；物种识别；监测；生物多样性保护

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### 10.11 基于大语言模型的机器人任务规划与操作合作研究(共性关键技术类)

研究内容：针对智能协作机器人规划和操作的学术前沿研究方向，基于大语言模型对常识认知、多模态感知与复杂任务推理的能力，以大语言模型作为机器人复杂任务规划中的基础世界模型与知识先验，设计用于复杂长时任务规划的机器人系统；探索大语言模型在长时机器人协作任务中，对任务规划过程的不确定性的建模方法与相应的校准评估技术，建立对不确定性鲁棒的规划方法与框架；建立对复杂噪声和部分可观测性稳健的大语言模型结合的机器人系统。

考核指标：建立基于大语言模型的长时规划相关理论框架与系统，实现实时的复杂任务推理、规划与操作，在不少于 3 类长时复杂任务中达到 85% 以上的规划成功率和 60% 以上的执行成功率，实时动态规划频率大于 10Hz，并在不少于 3 个典型的真实机器人场景中完成验证，实现 90% 以上的规划成功率和 75% 以上的执行成功率；至少有 2 项先进前沿技术实现首创或达到同类技术的国际

领先水平，并提供佐证材料；受理/授权不少于 5 项发明专利。

关键词：大语言模型；协作机器人；复杂长时推理与规划；不确定性建模

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

### **10.12 基于持续学习的作业机器人技能增长关键技术合作研发（共性关键技术类）**

研究内容：针对机器人面对新环境或者学习新任务时遗忘旧环境或者旧任务技能的难题，研究机器人任务环境变化的内在规律，构建基于持续学习的机器人作业环境动态感知模型；研究旧任务对新任务的知识泛化能力和经验反馈机制，建立基于经验回放的机器人作业技能持续学习范式；研究虚拟到真实环境的感知特征与动作策略迁移方法，突破真实任务环境下机器人技能增长关键技术；研发具有持续学习能力的作业机器人系统，面向装箱码垛、拆零拣选、精准焊接等典型工业任务开展技术验证。

考核指标：提出基于持续学习的机器人技能增长相关理论与方法，研发自主作业机器人系统，在不少于 5 种典型工业任务中进行技术验证，实现任务执行成功率 $\geq 95\%$ ，持续学习遗忘率 $\leq 10\%$ ，整体技术就绪等级 $\geq 4$ 级。至少有 2 项先进前沿技术实现首创或达到国际领先水平，并提供佐证材料；受理/授权不少于 5 项发明专利。

关键词：持续学习；技能学习；机器人动态环境感知；不确定性建模

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。