

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

(征求意见稿)

(仅国家科技管理信息系统注册用户登陆可见)

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，开展联合研究，集聚全球科技创新资源，推动解决共性问题 and 共同挑战，共促全球发展。

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。

项目不下设任务（或课题），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）外单位共同参与申报，国（境）外参与单位总数不设上限。项目申报单位应与外方合作伙伴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。

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。设计合成出强粘附性、高电导率的凝胶固态电解质，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 500mAh/g 和 480Wh/kg ，10000 次的循环充放电具有稳定的库伦效率。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，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（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：适合城市光伏系统规划的太阳辐射、环境温度、水动力过程、植被覆盖率等环境要素 100 米级均尺度建模方法，基于站点微尺度监测数据与卫星宏尺度遥感数据的时空均尺度数据融合方法；城市光伏系统和环境多物理场耦合仿真方法，包括考虑太阳辐照场、温度场、下垫面反照率的光伏系统光/电/热多物理场耦合建模技术，城市级光伏集群高性能仿真技术；在城市建筑、地面、水面等典型场景下，光伏发电量、碳足迹、水资源、植被覆盖率等协同规划指标评价方法，考虑碳足迹和环境效益的城市光伏系统规划方法和软件架构。

考核指标：

（1）研发考虑生态环境协同效益的城市光伏系统规划软件：适用城市的最大面积 ≥ 1 万平方公里；耦合分析的环境物理量包括太阳辐照度、大气温度、蒸发量、植被覆盖率等；多物理场耦合仿真的最小网格颗粒度 ≤ 100 米 $\times 100$ 米。

（2）耦合光伏系统的城市建筑、地面、水面三个场景环境模型，模型精度 $\geq 70\%$ 。

（3）适用于地面和水面兆瓦级以上光伏系统的“微气候-微环境-微生态”实证在线监测平台，监测因子 ≥ 10 种。

关键词：城市光伏系统规划；环境均尺度数值模型；多物理场耦合；高性能仿真；碳足迹；国际合作网络

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（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迫切需求，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：

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。

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。

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。

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。

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。研究内容包括：

（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；大型风电基地空气流场数值仿真精度在测风塔点轮毂高度处年平均风速高于国外同类软件 5%以上；尾流叠加和场群尾流恢复的模型精度在场群下游 4 公里处的流速和湍流强度分别比国外同类软件高 5%以上；大型风电基地风能利用效率提升 2%以上，投资水平降低 2%；软件平台友好，设计功能齐全，并应用在至少 1 个 500MW 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 基于生成式人工智能的风电装备制造缺陷检测技术研究（共性关键技术类）

研究内容：针对风电叶片、风电机组等风电装备制造和装配过程中的质量缺陷，开展基于生成式人工智能技术的质量检查、缺陷识别和工艺优化技术研究，利用文本、视觉、声纹等人工智能识别技术，快速准确地识别制造过程中的质量缺陷和故障，提高风电装备的制造质量和装配精度，从而提升风电装备的可靠性和性能。通过识别和纠正工艺缺陷，提高风电装备的工艺水平，降低生产成本，提高生产效率。

开发具备风电行业垂直领域深度业务知识的生成式人工智能底层平台，可根据具体机型的制造和装配过程场景，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：与人工智能领域的国际领先企业开展科研合作，开发国内首个风电行业垂直领域生成式人工智能应用底层平台，平台包含百亿参数规模的生成式人工智能模型，模型精度达到行业领先水平，计算规模不低于每秒 100 万亿次；基于生成式人工智能技术，突破风电装备制造过程中缺陷检测规范化难、错检率高的技术难题，大幅提升装备制造过程的稳定性和可靠性，针对风电装备制造过程中的 3 个及以上典型场景，缺陷识别准确率达到 95%，缺陷检测精度达到 10×10 像素级别，检测速率达到 50 毫秒/帧。

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（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纯氢技术；综纤维素组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（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。具体研究内容包括：研发生物质复合溶剂预处理高效制备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验证系统并开展运行研究。

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验证系统，实现生物质预处理制备小分子化合物的碳原子利用率 $\geq 80\%$ ，芳香族单体和羧酸产物选择性 $\geq 95\%$ ，联产氢气纯度大于 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

经费建议（万元）：国拨经费 200 万元。

1.9 能源岛及其组网系统多尺度仿真技术与软件开发（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开发、部署及组网运行特性精准分析的要求，

研究海上能源岛及其组网系统多尺度仿真技术，重点研究：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，海洋能（包括风能、太阳能、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，通过机电系统暂态仿真和计算流体力学工具共同进行验证。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。重点研究：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，为工业企业参与电网供需互动及多品种能源-需求响应市场交易提供理论基础。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，分钟级灵活可调能力评估误差 $\leq 10\%$ ；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 ≥ 3 。与外方合作成立该领域的合作平台（基地）、或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（基础研究类）

研究内容：针对高安全、高能量密度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 800mAh/g ，含硫聚合物材料中硫含量大于 70% ；聚合物电解质：厚度 $< 50\mu\text{m}$ ，

室温电导率 $\geq 1\text{ms/cm}$ ，锂离子迁移数 ≥ 0.6 ；全固态锂硫电池：容量 $> 10\text{Ah}$ ，比能量 $> 240\text{Wh/kg}$ ，1C 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（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，重点研究：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：正极材料极片比容量 $\geq 500\text{mAh/g}$ ，循环 ≥ 5000 次；负极材料比容量 $\geq 500\text{mAh/g}$ ，循环 ≥ 5000 次；单体电芯 $\geq 5\text{Ah}$ ，室温 1C 充放电，能量密度 $\geq 200\text{Wh/kg}$ ，循环 ≥ 5000 次，5000 周后电芯体积膨胀小于 30%；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，锂离子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 IEEE 等国际工作组，完成至少 1 项标准立项。

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（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℃，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℃，剩余 90%容量），工作环境温度-40℃~60℃；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℃，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（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 30kWh/m³；高温蓄热、低温蓄冷单元温度分别不低于 600℃和不高于-100℃，蓄热（冷）单元效率不低于 90%。

关键词：热泵储电；蓄热；蓄冷；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（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、调峰以及稳定性支撑需求。

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。

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。

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

2.7 大规模低成本跨季节热化学储能关键技术研究（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；揭示热化学反应器内流动-传热-传质-化学反应多物化过程协同强化机制，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。具体研究内容为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：热化学储热材料储能密度 $\geq 1500\text{kJ/kg}$ ，储热单元能量损失率 $\leq 0.5\%/30$ 天，储释能往返效率 $\geq 85\%$ 。

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，实现液相蓄冷效率 $\geq 95\%$ ，固相蓄冷效率 $\geq 90\%$ ；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 1 套液态空气储能系统中完成相关技术实验验证和示范应用。

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（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。重点研究：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 $\text{FOV} \geq 10\mu\text{m}$ ，空间分辨率 $\leq 250\text{nm}$ ，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 $\text{FOV} \geq 1\text{cm}$ ，空间分辨率 $\leq 10\mu\text{m}$ ，时间分辨率 $\leq 1\text{min}$ ；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（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受益。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。

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（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，重点研究：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 ≥ 2 种，主流负极材料 ≥ 2 种，主流电解质 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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（基础研究类）

研究内容：研究氢冶金核心反应器（如竖炉、流化床）内的多相流动、传递和反应的多尺度耦合作用机理，包括颗粒尺度上的流动、传递和反应机理，与颗粒相关的介尺度结构（颗粒聚团、球团等）的形成和演化规律；进而阐明介尺度结构对宏尺度流动、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、热量分配规律，以及操作条件、内构件、还原气体组成、布料方式等对热量平衡、气体分布和反应的影响规律；在此基础上，阐明调控氢气消耗量、还原效率、碳排放、能耗等工艺指标的科学基础。

考核指标：发展氢冶金反应器多尺度模型，可解析反应器内单颗粒尺度（微尺度）、聚团或球团尺度（介尺度）的流动、传递和反应耦合规律，阐明介尺度结构的形成和演化规律；揭示氢冶金反应器内流动、传递和反应规律，准确模拟整体反应器（宏尺度）内的气体扩散和时空分布规律，阐明供热与反应效率、转化率的关系，阐明操作条件、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，可计算氢气消耗量、还原效率、碳排放、能耗等工艺指标。

关键词：氢冶金；反应器放大；过程强化；多尺度模拟；介尺度

3.2 绿电低温电解铁基础研究（基础研究类）

研究内容：针对传统高炉炼铁工艺反应温度高、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，开展绿电直接低温电解铁基础研究；探究绿电直接电解铁条件下，铁矿石离子态高效转化及介质循环规律，电解槽流场电场耦合机制，非线性电解铁纯度及形貌控制方法，应用场景及模型设计理论，相关电气控制设计方法；完成绿电直接电解铁模块化高效反应器及关键材料开发，光伏直接低温电解铁技术集成及样机研发。

考核指标：揭示绿电直接电解铁条件下铁矿石离子态高效转化及介质循环规律，电解槽流场电场耦合机制；建立非线性电解铁纯度及形貌控制方法，应用场景及模型设计理论及相关电气控制方法；研发光伏直接低温电解铁样机，反应温度 $\leq 90^{\circ}\text{C}$ ，电解铁年产能 $\geq 2000\text{kg}$ ，电解铁尺寸不低于 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ ，电解铁纯度不低于99.9%，电解铁能耗不高于 4.0kWh/kg Fe 。

关键词：绿电直接电解铁；低温电解铁；超低碳制铁；光伏电解铁；钢铁

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；完成高炉喷吹生物质炭工业试验，实现高炉吨铁喷吹生物质炭 30kg/t 以上，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标准 1 项（征求意见稿）；构建多学科交叉的国际性研发团队，培养硕博研究生 5~8 人；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（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。

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。

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。

3.6 水泥工业燃料替代协同减污降碳关键技术与装备（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护关键技术，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%，水泥熟料生产过程碳排放减少 15%以上，烟气 SO₂ 排放≤35mg/m³、NO_x 排放≤50mg/m³；申请发明专利 3 件以上，形成新装备 1 套、新技术 2 项。

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。

3.7 化工行业低碳分离新材料及新技术研究（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；研究二氧化碳和生物质等非化石资源光电还原与光电氧化集成耦合，开发新型高效催化新材料，验证异相资源耦合转化的协同增效作用。

考核指标：研发化工行业气相、液相分离等节能降耗的分离过程，开发变革性分离材料 2~3 项，获得新材料可控、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、新路径完成试验验证，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；光电氧化新过程；非化石资源转化

3.8 煤化工过程高性能分子筛催化材料基础研究（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，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，指导分子筛催化材料设计。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（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；基于甲酸脱氢酶利用同一个催化中心可逆催化“二氧化碳-甲酸”互转化工作原理，创制性能稳定的铁、镍、钨、钼基分子催化剂，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（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：与现有技术和装备相比，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，实现运行效率提升 20%、降碳 10%以上；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；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研究（基础研究类）

研究内容：基于产品全生命周期理念，选取钢铁、水泥、石化化工、新能源汽车动力电池等部分制造业典型产品在全产业链过程中温室气体排放影响因素的识别、选取和量化机制，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方法和计算模型；制定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、跨行业碳排放信息汇集机制，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，完善本土化全产业链相关碳排放基础数据。

考核指标：形成钢铁、水泥、石化化工、新能源汽车动力电池等重点行业典型产品碳足迹核算方法与报告指南、数据质

量管控技术、碳足迹产品种类实施规则（PCR）等标准规范 5 项以上（其中国家/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；申请发明专利或软件著作权 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 CO₂ 捕集材料与工艺（基础研究类）

研究内容：开发 CO₂ 绿色吸收剂，研究 CO₂ 捕集过程强化技术，研究烟气组分对捕集性能的影响规律；研究与新能源耦合的 CO₂ 吸附新材料，研究吸附剂界面特性与吸脱附性能的构效关系；研发 CO₂ 捕集新工艺，开展绿色高效 CO₂ 捕集材料及工艺的试验验证。

考核指标：（1）设计 1-2 种新型 CO₂ 吸收剂；CO₂ 捕集率 $\geq 90\%$ ，再生热耗 ≤ 2.0 GJ/tCO₂，吸收剂损耗率 ≤ 0.3 kg/tCO₂；完成中试规模实验验证，烟气量 ≥ 100 Nm³/h，运行 1000 小时以上；（2）研发高效吸附材料 1-2 种，CO₂ 捕集率 $\geq 90\%$ ，CO₂ 产品气纯度 $\geq 95\%$ ，CO₂ 吸附量 ≥ 0.13 kg/kg，捕集能耗 ≤ 1.6 GJ/tCO₂，形成百吨级 CO₂ 吸附关键技术验证样机 1 台。

关键词：CO₂ 捕集；烟气；低能耗；绿色捕集材料

拟支持项目数：2 项，其中吸收和吸附捕集技术路线各支持 1 项。

4.2 空气中二氧化碳直接捕集关键技术（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 CO₂ 吸附性能的影响机制，开发适用高气体通量的 CO₂ 先进吸

附材料，建立空气中 CO₂ 直接捕集的传质-反应耦合强化方法，研发空气中 CO₂ 高效低能耗分离技术，研制空气中 CO₂ 直接捕集样机；开发空气中 CO₂ 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 CO₂ 直接捕集能质传递模型，研发空气中 CO₂ 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：

(1) 研发空气中 CO₂ 高效、低能耗分离技术，开发新型空气中 CO₂ 高效捕集材料 1~2 种，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，形成技术验证样机 1 台，再生热耗不高于 3.0GJ/t CO₂。

(2) 研发空气中 CO₂ 直接捕集与可再生能源耦合技术，开发空气中 CO₂ 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，其中空气中 CO₂ 直接捕集路线支持 1 项，与可再生能源耦合的空气中 CO₂ 直接捕集路线支持 1 项。

4.3 二氧化碳分离用新型分子筛膜材料（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 CO₂/N₂ 和 H₂/CO₂ 高效膜分离技术，研制原理样机并完成验证。

考核指标：

(1) 开发用于 CO_2/N_2 分离的新型分子筛膜材料，在 CO_2 浓度为 10~30%、温度为 25~60°C 条件下， CO_2 渗透速率 $\geq 5000\text{GPU}$ ， CO_2/N_2 选择性 ≥ 30 ，形成原理样机 1 台，运行 1000 小时以上。

(2) 开发用于 H_2/CO_2 分离的新型分子筛膜材料，在 CO_2 浓度为 30~50%、温度为 100~200°C 的模拟甲醇重整制氢测试条件下， H_2 渗透速率 $\geq 4000\text{GPU}$ ， H_2/CO_2 选择性 ≥ 30 ，运行 1000 小时以上。

关键词：二氧化碳分离；新型分子筛膜； CO_2/N_2 ； H_2/CO_2

拟支持项目数：2 项，其中 CO_2/N_2 分离和 H_2/CO_2 分离各支持 1 项。

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（共性关键技术类）

研究内容：研究 CO_2 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_2 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：

(1) 研发化学吸收剂再生催化材料 1~2 种，再生热耗 $\leq 2.0\text{GJ/tCO}_2$ ；完成中试验证，烟气量 $\geq 500\text{Nm}^3/\text{h}$ ，运行 1000 小时以上。

(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 $\leq 2.0\text{GJ/tCO}_2$ ，运行 1000 小时以上。

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，其中吸收剂催化再生技术路线支持 1 项，外场强化再生技术路线支持 1 项。

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（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 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 CO_2 制高值化学品和液体燃料的新型高效催化材料；开展 CO_2 高效转化耦合产物分离集成技术研究，研制高效 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：

（1）研发新型催化剂 1~2 种，开发 CO_2 催化转化制低碳烯烃新工艺， CO_2 单程转化率 $\geq 50\%$ ，产物选择性 $\geq 50\%$ ，形成 CO_2 连续转化关键技术验证样机 1 台。

（2）研发新型催化剂 1~2 种，开发 CO_2 催化转化制低碳醇新工艺， CO_2 单程转化率 $\geq 50\%$ ，产物选择性 $\geq 90\%$ ，形成 CO_2 连续转化关键技术验证样机 1 台。

（3）开发 CO_2 热催化反应与分离耦合技术，产物选择性 $\geq 90\%$ ，使低碳醇、低碳烯烃等目标产品的纯度 $\geq 90\%$ ，形成高效

催化耦合产物分离集成技术验证样机 1 台,运行 1000 小时以上。

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, 其中光/电等催化转化制低碳烯烃、低碳醇技术路线各 1 项, 热催化反应与分离耦合技术路线 1 项。

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 (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 (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；自热式氨分解制氢反应器产氢速率 $\geq 100\text{Nm}^3/\text{h}$ ，无电加热条件下氨分解率 $\geq 99\%$ ，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。具体内容包括：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 $\leq 0.8\text{mg}_{\text{Ir}}/\text{cm}^2$ ，电解电压 $\leq 1.9\text{V}@2\text{A}/\text{cm}^2@60^{\circ}\text{C}$ ，氧中氢含量 $\leq 1\%@1\text{MPa}@1\text{A}/\text{cm}^2$ ；

（2）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) 申请发明专利不少于 3 项, 培养人才不少于 5 名。

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 (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。具体内容包括: 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 ≥ 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 $\geq 100\text{mS}/\text{cm}$, 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 $\leq 2\text{mA}/\text{cm}^2$, 膜电极性能 $\geq 0.6\text{V}@1\text{A}/\text{cm}^2$ ($\geq 120^\circ\text{C}$), 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) 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基础研究(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 ≥ 4 片, 单体电池面积 $\geq 80\text{cm}^2$, 分区数 ≥ 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 ≥ 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 $\geq 0.6\text{A}/\text{cm}^2@ \leq 800\text{C}@1.3\text{V}$, 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

其他要求: 国外参与单位不少于 2 个, 不少于 1 家企业。

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(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非单一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°C 下重量储氢密度 $\geq 2.0\text{wt}\%$ ，对 0.1MPa 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 ≤ 120 元/kg。

(2) 揭示非单一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，实现氢储存增压一体化装备，储氢量 $\geq 5\text{kg}$ ，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（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（不限定固态、液态）和方法，阐明储氢机理与热力学/动力学特征，发展储氢

材料的低成本策略。揭示储氢材料可逆吸放氢过程中氢、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。

考核指标（项目可选考核指标 1 或 2）:

（1）储氢材料的质量储氢密度 $\geq 3\text{wt}\%$ ，体积储氢密度 $>50\text{kg/m}^3$ ，吸放氢温度低于 150°C （ -40°C 以上），脱氢量 $\geq$ 吸氢量的 90%。材料可实现规模制备，且材料成本接近现有规模生产的储氢材料。

（2）储氢介质可在环境温度低于 100°C （ -40°C 以上）下可逆吸脱氢，质量储氢密度 $>5\text{wt}\%$ ，体积储氢密度 $>50\text{kg/m}^3$ ，脱氢量 $\geq$ 吸氢量的 90%；建立一套实现材料吸、放氢的装置。

关键词：储氢材料；储氢机理；储氢密度

拟支持项目数：2 项（针对考核指标 1、2 各支持 1 项）

5.7 面向长距离大规模纯氢和天然气掺氢输运系统的高参数长寿命及本质安全设计（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输运的关键瓶颈，重点开展输运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 and 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 0.5L/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（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 $\geq 2000\text{h}$ （ 90°C ， $100\%\text{RH}$ ），耐酸性 $\geq 1500\text{h}$ （ 90°C ， $\text{PH}=2$ 硫酸液），耐冷却液 $\geq 1500\text{h}$ （ 90°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°C ， 30min ）；稳定性：厚度稳定性 $\geq 85\%$ （ 90°C ， 500h ）；加工工艺：固化时间 $\leq 10\text{s}$ 。

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：配套经费与国拨经费的比例不低于 2:1。由企业牵头申报。

5.9 中温快速变压吸附法制氢材料及过程优化（基础研究类）

研究内容：针对我国工业氢气中 CO、CO₂ 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、CO₂ 弱化学吸附位点构建及中温吸脱附特性；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、CO₂ 定向除杂吸附材料，CO、CO₂ 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 $\geq 50\%$ ；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；同步的氢气分离与提纯总收率 $\geq 70\%$ ；以上述原料分离提纯至 GB/T37244-2018 所规定的燃料氢气技术指标对应总运行成本 ≤ 1.8 元/kg H₂。

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。

5. 微纳电子

6.1 低功耗、高集成体自旋轨道矩磁随机存储器研究（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，本指南旨在突破功能材料、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，主要研究内容包括：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，设计并制备具备高隧穿磁电阻比值的体自旋轨道矩磁隧道结，在低临界电流密度下实现亚纳秒信息写入；最后，优化膜堆沉积、器件加工工艺，提升工艺的工艺均一性，实现晶圆级磁存储阵列。

考核指标：隧穿磁电阻比值不低于 120%，核心器件尺寸不大于 40nm，且该尺寸下热稳定因子不小于 150，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，研发器件集成阵列，规模不小于 10×10 。

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、高能效阻变存储器芯片；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 ≥ 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 $3\sim 8\sigma$ 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：须有 2 个以上国家的合作单位参与；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异构边缘芯片 1 款以上；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，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

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 张弛振荡器设计；研究高能异构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 张弛振荡器的频率漂移不高于 150ppm；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；研究红外光电探测器光谱响应调控机理和方法；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，光谱范围 900~3000nm，光谱分辨率 $\geq 3\text{nm}$ ；光谱感知动态范围 $\geq 10000:1$ ；信噪比 $\geq 5000:1$ ；片上 ADC 的有效位数 ≥ 14 位；测量帧频 ≥ 30 帧/秒；采用项目研制的芯片至少应用于 2 个领域。

关键词：光谱传感芯片；红外探测器；单片集成；光电响应调控；物质分析

6.7 多组分智能识别微纳气体传感器关键技术合作研究（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，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 ≥ 5 种（包括但不限于 CO 、 CH_4 、 C_2H_4 、 C_2H_6 和 C_3H_6 ），检测下限 $\leq 10\text{ppm}$ ，响应

时间 $\leq 3s$ ，误报率 $\leq 5\%$ ，体积 $\leq 2cm^3$ 。

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。鼓励企业牵头申报。

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传感方法，研究水体样本微流控快速预处理技术，研究电化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 $\leq 5\mu g/L$ ，分析时间 $\leq 15min$ ，芯片尺寸 $\leq 5cm \times 10cm$ ，系统功耗 $\leq 5W$ 。

关键词：重金属离子检测；微传感器；微流控；电化

6.9 硅基光电融合集成关键技术合作研究（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；单片光电集成收发芯片，双向带宽 $\geq 2\text{Tb/s}$ ，能耗效率 $\leq 5\text{pJ/bit}$ ，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

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

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，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

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

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 ≥ 16 ，单核矩阵运算规模 $\geq 4 \times 4$ ，计算精度 $\geq 5\text{bit}$ ，时钟 $\geq 5\text{GHz}$ 。

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

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

6.12 光子集成毫米波波束赋形技术合作研究（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：研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 ≥ 16 ，可用带宽不低于 15GHz ，偏转角数量 ≥ 32 ；面向下一代无线通讯系统，实现工作频率不低于 71GHz ，波束覆盖范围超过 80° ，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

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 1:1。

6. 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、威胁模型和攻击表面，以及支持 TCM、可集成物理不可复制函数技术的可信根架构、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。具体内容：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，视觉信息编码及解码重建，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，功耗小于 5W；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；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；视觉信息编解码；视觉 AI 推理；视频编码与传输

7.3 机器学习使能的新型存储系统结构与关键技术（基础研究类）

研究内容：研究机器学习使能的新型存储系统结构、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，突破传统存储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，提高存储系统非结构化数据内容管理能力以及存储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存储原型系统，攻克存储系统数据内容认知、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*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%，存储资源利用率大于 80%。

关键词：机器学习；存储；系统结构；元数据；智能缓存

7.4 在网计算技术的机制研究与验证（基础研究类）

研究内容：面对分布式计算领域应用对于网络 and 计算联合设计的需求，研究支持人工智能、大数据等应用的多模态在网计算技术，将分布式应用的计算功能融入网络，以在网计算协议设计和开发框架为研究主线，突破面向分布式计算领域的传算一体的协议设计、网络资源的分配调度、面向分布式应用的开发框架等关键技术，面向网络与计算智能融合的典型分布式应用场景展开组网验证，基于在网计算技术实现多样化垂直领域的高质量承载，为垂直领域应用提供智慧、高效、敏捷的网络服务。

考核指标：形成支持多模态分布式应用的在网计算解决方案；研制在网计算网络协议，实现网络协议栈，交换容量不小于 4Tbps，端口速率支持 200Gbps，支持通用分布式计算原语与网络协议的联合优化，支持面向机器学习、大数据等应用的共生共存和动态部署，支持模态间隔离，模态间相互影响程度小于 1%；研制多模态在网计算应用的网络资源调度策略、路由策略与运维系统，支持对不少于三种调度策略的正确性验证，支

持不低于 99% 的平均网络带宽利用率，网络规模不少于 1000 节点时能够在 10 秒内完成全局任务资源调度；研制多模态应用中在网计算的开发技术，支持不少于 4 种场景定义的异构设备环境，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 4 种计算传输模式，电接点流量转发平均实验小于 10 微秒，终端数量不少于 1 千台。

关键词：多模态应用；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。主要研究：联合研究低功耗非易失电致可重构光加权机理和单元器件设计，提高光学对比度；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；研究硅基相变光卷积加速器芯片的设计和制备工艺，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-相变材料异质波导内光场、电场、热场相互耦合，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>20dB，权重控制精度>6bit；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%。

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。主要研究：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秒级采样率，并支持采样数据稀疏表示与动态自适应采样，能够支持性能瓶颈分析、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（共性关键技术）

研究内容：针对湖仓融合架构下多模态数据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、机器学习等多种类分析任务的一体化高效处理方法；研究湖仓融合架构下事务处理机制与一致性保障方法；研究弹性资源调度管理机制，实现低延迟、高可用的按需资源分配。

考核指标：研发基于湖仓融合架构下的多模态数据处理系统，支持数据类型覆盖关系型数据、JSON、图数据、文本、图片、视频等；支持对结构化、半结构化、非结构化数据元数据建模与管理；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；系统事务稳定吞吐量不低于 20000tps，在单一数据集规模为 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；支持不少于 6 种数据模式识别与分析算法；支持秒级别的数据集搜索。

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（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，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（如基因组学数据）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，保证通信方扩展到 N 的同时通信复杂性为 $O(\log N)$ ；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（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。具体研究包括：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；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++、Java、Python、JavaScript、Go 等 5 种主流编程语言，覆盖 500 万个组件；在多语言上代码级成分分析的准确率达到 90% 以上；支持自研率、安全漏洞、许可证合规等风险的可信分析，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（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 12.0.0 上，使用标准数据集 cBench 上实现执行加速为其系统默认配置（-O3）的 1.5 倍，将其自带编译器文件故障定位准确度从 66.67% 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（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）整个船舶模型的平均出图时间 <7 分钟；（6）在国产三维 CAD 软件进行技术集成验证。

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（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，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%，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

7. 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 ≥ 10000 尼特；Micro-LED 光通信芯片的 3 分贝带宽 ≥ 2 吉赫兹，基于 Micro-LED 的通信系统数据传输速率 ≥ 10 吉比特每秒；申请发明专利 ≥ 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，器件数量 ≥ 30 个，集成器件种类 ≥ 6 种；片内信息传输速率 ≥ 600 兆比特/秒；可见光波段的光波导损耗 < 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 ≥ 10 毫安，关态漏源击穿电压 ≥ 100 伏，关态泄漏电流 < 1 微安，沟道载流子迁移率 ≥ 100 平方厘米/（伏·秒）；申请发明专利 ≥ 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镓氮和铝镓氮异质外延生长过程中镓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；研究高镓组分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布达到 1 微秒和 0.1 纳米；可定量测量镓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）氮化镓衬底上镓氮和铝镓氮外延过程中的镓（5% ~ 40%）或铝（40% ~ 80%）组分；揭示镓氮和铝镓氮异质外延生长过程中镓或铝的并入规律；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 ≥ 5 件。

关键词：X 射线原位表征；氮化镓；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 ≥ 3 千伏，单个器件双向导通电阻均 <300 毫欧； $dV/dt \geq 80$ 伏/纳秒；50千瓦负载电路中，器件效率大于98%；申请发明专利 ≥ 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：低射频损耗硅衬底上氮化镓基异质结构方块电阻 <210 欧姆每方，140吉赫兹时射频损耗 <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 ≥ 300 吉赫兹，最高振荡频率 ≥ 450 吉赫兹；申请发明专利 ≥ 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，硬击穿电压 ≥ 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 ≥ 2.0 伏特，导通电阻<10 欧·毫米，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 ≥ 4 英寸，晶体厚度 ≥ 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；申请发明专利 ≥ 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(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：6 英寸碳化硅单晶总位错密度 <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；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 ≥ 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(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 ≥ 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：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 ≥ 1000 伏特，阈值电压 ≥ 3 伏特；实现高耐压、低损耗氧化镓肖特基二极管，击穿电压 ≥ 3000 伏特，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 ≥ 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：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 ≥ 2000 伏特，欧姆接触电阻 <1 欧·厘米，开关电流比 $\geq 10^6$ ，器件开关迟滞 <0.5 伏特，阈值电压 $0 \sim 5V$ 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 ≥ 1 伏特；申请发明专利 ≥ 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；纳米银和纳米铜烧结互连孔隙率 $<10\%$ ，导热率 ≥ 200 瓦/米·度，剪切强度 ≥ 40 兆帕；制定技术标准 1 项，申请发明专利 ≥ 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发（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 0~0.5；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，并实现对于该尺度单粒子的捕获和操控。申请发明专利不少于 3

件，培养研究生不少于 5 人。

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（基础研究类）

研究内容：针对深空极端环境下复杂空间构型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，进行航天服关键零部件应用验证。

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 $\leq 0.3\text{W/mK}$ ，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 $\geq 1.5\text{kcal/cm}^2$ ），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 20~30 项，培养研究生 10~15 名。

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；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 100 纳米，材料内部自由电子密度测量灵敏度优于 10^{16}cm^{-3} ；硅的径向/轴向加工分辨率均优于 2 微米，铌酸锂功能结构加工精度优于 100 纳米；硅内部异形微通道半径优于 100 微米，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 500 纳米。申请发明专利 8~12 项，培养研究生 6~8 名。

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 $\leq 1\mu\text{m}$ 。申请发明专利 ≥ 5 项，国际合作联合培养研究生 ≥ 5 名。

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}W/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，培养研究生 5 名以上，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 $\leq 50\text{nm}$ ，极紫外干涉光束偏转损耗 $\leq 30\%$ ，光刻胶干涉光刻图样周期 $\leq 1.5\lambda$ 。申请发明专利 ≥ 5 项，培养研究生 ≥ 5 名。

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的合作研发（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

定和高速切换技术，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 $\geq 500\text{MW/cm}^2$ ；驻波比(VSWR) ≤ 1.8 ；扫描带宽 $\geq 80\text{MHz}$ ；扫描速率： $\geq 500\text{rad/s}$ ；扫描精度 $\leq 1\mu\text{rad}$ ；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，培养研究生 3 名及以上；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 ≥ 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，培养研究生 10 名。

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；波长适应生物组织吸收峰，输出功率稳定性（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（ $\varnothing 4\text{mm} \times 10\text{mm}$ ）耗时 ≤ 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 ≥ 10 例；申请发明专利

≥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 2 千焦耳、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℃温度范围，热膨胀系数 $\leq 16 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ ；50~100℃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，培养研究生 3 名以上，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；泵浦阈值小于 1mW。申请发明专利 10 件，培养研究生 10 名。

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控制技术、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 $\geq 100\text{kHz}$ ；轧辊毛化效率 $\geq 1.5\text{m}^2/\text{h}$ （ ≥ 2 激光毛化头）；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 R_a 均匀性 $\pm 4\%$ （不含仪器误差）；平均粗糙度（ R_a ）： $0.5\sim 15\mu\text{m}$ ；粗糙度峰计数（ R_{pc} ）： $70\sim 160$ ；粗糙度偏斜（ R_{sk} ）： $-0.5\sim 0.5$ 。实现销售 ≥ 5 台（套），形成企业标准 ≥ 1 项；申请发明专利 ≥ 3 项，培养研究生 ≥ 3 名。

关键词：激光；调制；轧辊；毛化

其他要求：配套经费与国拨经费的比例不低于 2:1。项目由企业牵头申报。

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，模型检索召回率不低于 80% 时，精确率不低于 60%，模型复用训练的时长不超过 24 小时，模型复用可降低机器学习任

务错误率 20%以上。

关键词：机器学习；模型复用

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，建立正向推理和反向验证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：设计模型可靠性量化指标，相较于基础模型不降低准确率的前提下，所提出方法在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基础模型在精度指标提升不低于 5%时，遗忘率指标不高于 10%。开源学习数据、模型和软件框架等，在开源成果下载量和注册使用等方面具有较大影响力。

关键词：大模型；可信模型；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，推断环境和行为间的因果关系；研究物体操作中最优干预策略，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；研究主动因果发现算法，使智能体具备不同场景

下的局部因果结构推理能力；研究大语言模型在具体场景下，对其中蕴含的因果关系的推理和预测能力。

考核指标：将因果发现任务中的干预效率提升 30%以上；将智能体在新环境下的迁移能力提升 20%以上；将物体操作执行成功率提升 30%以上；因果关系网络推断的 F1-score 达到 90%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：合作研究视觉/语言大模型的记忆和生成机理，刻画 Transformer 模型的学习过程，研究注意力机制与模型记忆之间的关联，提出记忆量化指标，并基于此分析模型在学习过程中对数据的记忆规律（包括记忆内容、记忆方式、记忆速度和记忆容量）；从特征学习的角度分析大规模预训练对下游任务泛化的重要性，研究神经标度律，揭示数据量和模型参数规模之间的理论关联，研究随机性对生成式大模型的重要性，探索记忆、生成与随机性之间的理论关联，解释大模型的“涌现”和“顿悟”现象本质。

考核指标：合作提出 1 套大模型记忆量化和分析方法体系；提出 1 套数据和模型参数规模关联理论；提出 1 个大模型记忆和生成溯源方法；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；研究自然语言处理领域下，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，如：针对热门事件等具有争议性话题的文本，或者与价值观相关的行为，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（安全，道德，立场、心理）可解释性研究，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（安全，道德，立场、心理）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；探索相关技术在社会学、管理学等领域的运用，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 1 套面向多元价值观对齐的数据集；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；在社会学或管理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，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：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，与通用大模型相比因果知识获取及推理能力提升至少 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；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框架合作研发（基础研究类）

研究内容：研究适用于不同算力需求、功耗需求的存算一体人工智能芯片架构，以此为基础提炼可配置的架构模板，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，可以针对高性能、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，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：合作研发 1 套可配置的参数化存算一体人工智

能芯片架构模板；研发 1 套面向存算一体架构的人工智能算法映射工具；研发 1 套存算一体芯片的架构自动搜索框架；组织不少于 3 次该领域国际研讨会，提高项目成果的国际影响力。

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合作研发（基础研究类）

研究内容：研究人工智能大模型的推理和训练数据流优化方法，以适应存算一体架构的计算特点，提升硬件资源的利用率；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；研发存算一体宏单元的互连技术和可重构控制通路，以满足大模型中多样的资源需求和动态变化的数据流。

考核指标：合作研发 1 套面向存算一体架构的人工智能大模型数据流优化工具；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；研发 1 套适用于高算力场景的存算一体互联架构和可重构编译工具。

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微调关键技术合作研发（共性关键技术类）

研究内容：针对各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微调关键技术，将单一模态上预训练完成的大模型适配到多种模态与下游任务，并在自动驾驶应用中

进行验证。实现 2D 图像/视频预训练视觉大模型的 3D 范式升级，针对 3D 点云、脉冲视觉信号等多种其他模态进行参数/数据高效微调，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，在自动驾驶场景中实现高精度强泛化通用视觉大模型。通过数据交互和高效微调，提升自动驾驶系统对于极端场景和异常案例的学习能力，在典型困难场景和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、差异驾驶习惯、复杂驾驶规则等问题，研究基于高效微调的持续学习算法，利用大语言模型引导视觉知识蒸馏，并设计多专家系统（MoE）对各模态大模型进行知识融合，使得模型可根据输入数据自动选择相应专家网络，从而提高整体模型的可扩展性和泛化性，降低在不同国家和地区的训练时间和成本，推动大模型在不同国家的落地应用。

考核指标：合作研发统一的大模型高效微调框架，使单一模型具备接受不同模态输入并执行多种任务的能力，得到具有强扩展能力和泛化性能的多模态多任务大模型；模型在各个模态下的任务评测指标（准确率、F1 分数、回归误差等）相比传统微调方法提升至少 10%；在以纯视觉相机（RGB Camera）数据模态训练的视觉大模型基础上，设计针对 3D 点云、脉冲视觉信号等多种其他模态的参数/数据高效微调算法，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数据的感知理解能力，在其他模态物体检测和分割任务上的准确率达到全球前 3；针对不同国家和地区的驾驶环境，构建统一评价基准，在典型危险场景（高速运动、鬼探头等）中实现准确感知，准确

率达到全球前 3; 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 次该领域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; 受理/授权发明专利不少于 2 项。

关键词: 大模型; 跨模态微调; 参数高效微调技术; 多专家系统

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, 构建大规模生物多样性数据集; 研究构建基于多模态生物数据(包括图片、声音、视频等)的生物多样性大模型; 研发基于生物多样性大模型的物种识别、监测系统, 开展生物多样性领域大模型应用示范工作, 促进生物多样性保护工作的智慧化水平, 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“人与自然和谐共处”的 2050 愿景和《生物多样性公约》目标继续做出贡献。

考核指标: 与不少于 1 个国家(含地区、国际组织)合作, 构建并 1 套生物多样性领域数据集; 研发 1 个生物多样性领域大模型, 并开展其在相关领域的应用示范, 产出应用示范报告 1 份; 组织 3 次该领域国际顶尖会议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。

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（共性关键技术类）

研究内容：针对智能机器人规划和操作的学术前沿研究方向，以大语言模型为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；探索大语言模型规划任务不确定性的建模方法与相应的校准评估技术；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 $\geq 95\%$ ，整体技术就绪等级 ≥ 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。