

“氢能技术”重点专项

2021 年度项目申报指南建议

（征求意见稿）

国家重点研发计划启动实施“氢能技术”重点专项。本重点专项总体目标是：以能源革命、交通强国等重大需求为牵引，系统布局氢能的绿色制取、安全致密储输和高效利用技术，贯通基础前瞻、共性关键、工程应用和评估规范环节，到 2025 年实现我国氢能技术研发水平进入国际先进行列，关键产业链技术自主可控，描绘出我国氢能产业发展技术路径的目标愿景。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，拟围绕氢能绿色制取与规模转存体系、氢能安全存储与快速输配体系、氢能便捷改质与高效动力系统及“氢进万家”综合示范 4 个技术方向，启动 19 个指南任务。

1. 氢能绿色制取与规模转存体系

1.1 光伏/风电等波动性电源电解制氢材料和过程基础 (基础研究类)

研究内容：针对光伏/风电等制氢系统应用所面临的动态适应性和运行可靠性等问题，开展波动电源电解制氢材料和过程基础研究，具体内容包括：研究复杂工况下电解制氢系

统动/静态响应特性与建模方法；研究复杂运行工况对电解堆性能和寿命的影响机理与提升技术，包括适应波动性输入的电解堆材料/结构的设计和优化；研究新能源富集地区源/网特征刻画方法及模拟技术，研制电解堆适应性验证平台；研究高比例新能源电网系统中电解堆适应性评价和表征方法；研究适应复杂工况的电解制氢系统配置优化与过程控制技术，研制适应波动性输入的长寿命电解制氢试验装置。

考核指标：电解制氢系统模型动静态误差 $\leq 10\%$ ；研制适应波动性输入的水电解制氢试验装置：水电解堆在额定电流密度 $1.5\text{A}/\text{cm}^2$ 、额定功率 $\geq 100\text{kW}$ 、操作压力 $\geq 3.5\text{MPa}$ 、产氢纯度 $\geq 99.99\%$ 条件下， $5\% \sim 200\%$ 额定功率范围内连续调节，在模拟华北、西北、东北等典型新能源富集地区电网能量平衡规律下工作 5000h ，水电解堆衰减率 $\leq 10\mu\text{V}/\text{h}$ ；构建复杂工况下电解堆适应性验证平台，纹波频率： $100 \sim 2000\text{Hz}$ ，占比 $1\% \sim 10\%$ 可调，电流阶跃响应时间 $\leq 20\text{ms}$ ，复现误差 $\leq 1\%$ ；建立水电解制氢系统波动电源适应性评价体系；相关标准规范(送审稿) ≥ 3 项。

1.2 低成本 PEM 水电解制氢电堆关键材料制备技术(共性关键技术类)

研究内容：针对关键材料制备规模小、单位成本高等制约 PEM 水电解制氢应用和发展的的问题，开展低成本电解水制氢用关键材料设计与批量化制备技术研究，具体内容包括：研究新型低铱（Ir）基/非 Ir 基催化剂的设计、合成与高一致性批量化制备工艺；研究高电导率、高强度、高稳定性的离

子交换树脂及其增强薄膜的设计与制备技术；研究低成本大面积膜电极涂布及成型工艺；研制适于连续工业化生产的质子膜及膜电极制备装备。

考核指标：低 Ir 催化剂：Ir 载量 $\leq 0.3\text{mg}/\text{cm}^2$ ，基于膜电极测试电解电压 $\geq 2\text{A}/\text{cm}^2@1.9\text{V}@80^\circ\text{C}$ ，过电势 $\leq 200\text{mV}@10\text{mA}/\text{cm}^2$ ，工作 1000h 后，电势衰减 $\leq 0.5\%$ ；非 Ir 析氧催化剂：载量 $\leq 1.5\text{mg}/\text{cm}^2$ 条件下，膜电极电解电压 $\leq 1.80\text{V}@500\text{mA}/\text{cm}^2$ ，过电势 $\leq 350\text{mV}@10\text{mA}/\text{cm}^2$ ，酸性条件下 10000 次循环后过电势衰减 $\leq 20\text{mV}$ ；质子膜：树脂交换容量(IEC) $\geq 0.9\text{mmol}/\text{g}$ ，厚度 $\leq 80\mu\text{m}$ 、偏差 $\leq \pm 5\%$ (采样面积 $\geq 300\text{cm}^2$)，质子电导率 $\geq 0.1\text{S}/\text{cm}@80^\circ\text{C}$ ，拉伸强度 $\geq 50\text{MPa}$ 、弹性模量 $\geq 300\text{MPa}(50\%\text{RH}, 25^\circ\text{C})$ ，面向尺寸变化率 $\leq 5\%$ (50%RH 至 100%RH)，成本 ≤ 2300 元/ m^2 ；质子膜制备装备：幅宽 $\geq 600\text{mm}$ ，产能 ≥ 10 万 $\text{m}^2/\text{年}$ ；膜电极制备装备：单片活性面积 $\geq 3000\text{cm}^2$ ，产能 ≥ 10 万 $\text{m}^2/\text{年}$ 。

1.3 高效大功率碱水电解槽关键技术开发与装备研制 (共性关键技术类)

研究内容：针对碱性电解水制氢大功率、高电流密度、低能耗的需求，研发大功率碱性水电解制氢关键技术与系统集成技术，具体内容包括：低成本、高活性、长寿命一体化大面积新型复合电极设计与批量制备技术，功率波动工况下的电极过程动力学特性；大面积、低传质阻抗、高亲水性、高耐热性新型非石棉隔膜批量制备技术；大直径碱性电解槽结构优化设计与集成技术；具有宽功率波动适应性的电解水

制氢成套装备的优化设计与集成技术，宽功率波动工况下制氢系统的电-热-质均衡优化技术。

考核指标：电解槽额定产氢量 $\geq 3000\text{Nm}^3/\text{h}$ ，电极小室电压 $\leq 1.80\text{V}$ @电流密度 $5000\text{A}/\text{m}^2$ ；制氢负荷 $\geq 80\%$ 额定条件下，电解槽直流电耗 $\leq 4.3\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{H}_2$ ，系统单位能耗 $\leq 4.9\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{H}_2$ ，2000h后电解槽直流电解效率衰减 $\leq 0.1\%$ ；电解制氢装备额定功率 $\geq 15\text{MW}$ ，设备运行压力可调范围 $\geq 0.8 \sim 1.6\text{MPa}$ ，功率可调范围 $\geq 20 \sim 110\%$ 的额定功率。

1.4 电解制氢加 CO₂ 制甲醇工程技术及中试装备开发 (共性关键技术类)

研究内容：针对大规模氢气加 CO₂ 实现碳减排的产业化发展需要，研发电解制氢加 CO₂ 制甲醇工程技术与中试装备，具体内容包括：构筑用于 CO₂ 高效催化剂体系；研究 H₂ 和 CO₂ 在催化剂表面的吸附与活化、失效规律以及中间物种的形成和变迁规律；研究粘结剂和催化剂成型方式、催化剂强度及孔结构优化技术；开发工业化规模的换热优化新型反应器及工艺；开发工程化甲醇/水分离关键技术；开发氢气加 CO₂ 制甲醇成套工艺包，实现十万吨级中试。

考核指标：催化剂运行 5000h 甲醇收率衰减 $\leq 5\%$ ；反应器：单塔规模 \geq 十万吨，CO₂ 单程转化率 $\geq 15\%$ ，甲醇选择性 $\geq 90\%$ ；有机相中甲醇含量 $\geq 99.5\%$ ；编制氢气加 CO₂ 制甲醇十万吨级优化工艺包，提交能耗、全工艺流程核算报告；建立十万吨级中试装置，CO₂ 总转化率 $\geq 90\%$ ，甲醇总选择性 $\geq 95\%$ ，稳定运行时间 $\geq 3000\text{h}$ 。

1.5 电解制氢-低温低压合成氨关键技术及应用（共性关键技术类）

研究内容：针对发展可再生能源与低温低压合成氨互补融合新路径，开展电解制氢-温和条件合成氨关键技术及应用，具体内容包括：探索近常压氢气和氮气合成氨新机制，研发低温低压高效合成氨的催化新材料和副反应的抑制新方法，阐明 $N\equiv N$ 键活化和 $N-H$ 键形成的催化机理；研究高性能热化学合成氨催化剂及批量制备技术；构建可再生能源电解水制氢-低温低压热化学合成氨的模拟仿真平台，开发互补融合系统的成套新技术；设计并建成万吨级可再生能源制氢-低温低压热化学合成氨技术的验证装置。

考核指标：近常压合成氨催化剂：反应温度 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ 、反应压力 $\leq 0.2\text{MPa}$ ，产氨速率 $\geq 100\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ；低温低压条件合成氨催化剂：反应温度 $\leq 400^{\circ}\text{C}$ ，反应压力 $\leq 7.0\text{MPa}$ 、空速 $\geq 10000\text{h}^{-1}$ ， NH_3 产率 $\geq 15\%$ ；可再生能源制氢-低温低压热化学合成氨技术的验证装置：可再生能源制氢电解系统 $\geq 3\text{MW}$ ，合成氨运行压力 $\leq 7.0\text{MPa}$ 、反应温度 $\leq 400^{\circ}\text{C}$ ，氨净值 $\geq 15\%$ ，3000h 以上连续稳定运行。

1.6 十万吨级可再生能源电解水制氢合成氨示范工程（应用示范类）

研究内容：针对我国西南地区水/光发电消纳困难以及传统合成氨工艺的碳减排等问题，开展十万吨级可再生能源电解水制氢合成氨示范应用，具体内容包括：研究适应可再生能源动态特性的电解水制氢合成氨系统建模与优化配置方

法；研究适应柔性生产的合成氨工艺流程优化与调控；研究适应水光互补特性的大规模电解水制氢系统集成与集群控制技术；研究源-网-氢-氨互动的全系统协同控制技术；研究计及电、氢、氨等要素的全方位安全防护与市场运营机制，形成绿氢合成氨相关标准体系。

考核指标：掌握可再生能源电解水制氢合成氨全工艺环节建模技术，动静态模型误差 $\leq 5\%$ ，开发适应柔性生产的合成氨工艺流程仿真分析软件；建成十万吨级电解水制氢合成氨示范工程：绿氢占比 100%，合成氨产能 ≥ 10 万吨/年，产量调节范围 50%~100%；电解制氢系统：规模 $\geq 100\text{MW}$ ，系统单位能耗 $\leq 4.8\text{kWh/Nm}^3$ ，集群系统调节范围 10%~100%，冷启动时间 ≤ 30 分钟，热启动时间 ≤ 30 秒，动态调节速率 $\geq 20\%$ /分钟；可再生能源消纳能力 ≥ 5 亿 kWh/年；电网调峰指令响应时间 $\leq 1\text{s}$ ；形成技术标准(送审稿) ≥ 5 项。

2. 氢能安全存储与快速输配体系

2.1 高密度储氢材料及其可逆吸/放氢技术（基础研究类）

研究内容：针对高密度储氢材料的应用需求，研发具有高质量储氢量的可逆储氢材料、批量制备工艺以及示范储氢系统，具体内容包括：高密度储氢材料的设计和制备；高密度储氢材料吸/放氢热力学和动力学；高密度储氢材料的吸/放氢速率控制；高密度储氢材料循环性能的衰减机制和稳定化方案；以高密度储氢材料为工质进一步研制示范储氢系统，以及释放氢气中杂质的种类、含量及抑制方法等。

考核指标：低于 200°C 下材料的质量储氢密度 $\geq 9.0\% \text{wt.}$ ，

可逆放氢量 $\geq 95\%$ ，吸/放氢循环寿命（50次） $\geq 90\%$ ，储氢压力 $\leq 7\text{MPa}$ ；示范储氢系统的吸/放氢速率 $\geq 3.0/0.3\text{g H}_2/\text{min}$ ，氢气纯度 $\geq 99.99\%\text{wt.}$ ，杂质气体含量满足燃料电池用氢气品质 GB/T37244-2018 要求。

2.2 氢气液化装置氢膨胀机研制（共性关键技术类）

研究内容：针对液氢规模化、致密化储运所需的低温液化系统核心装备，开展氢膨胀机、低温氢气换热器和正仲氢转化技术研究，具体内容包括：氢液化流程及氢膨胀机组参数优化与动态仿真技术；高效低温氢膨胀机设计方法；低温氢膨胀机变工况与两相膨胀适应性；低温氢膨胀机的密封、绝热技术与制造工艺和可靠性；大型高效低温氢气换热器设计方法与制造工艺；高效正仲氢转化催化剂材料及转化器设计；液氢储罐液位在线精密测量技术；基于氢气膨胀机的氢液化验证装置。

考核指标：研制的氢气膨胀液化装置液化能力 ≥ 5 吨/天，液氢产品仲氢含量（体积分数） $\geq 97\%$ ；氢膨胀机等熵膨胀效率 $\geq 80\%$ ，启停寿命 ≥ 1000 次，连续 10000h 免维护运行；液氢储罐液位测量偏差 $\leq 0.5\%$ ；开发氢液化流程设计与仿真软件，液化量预测偏差 $\leq 15\%$ ；建立国家/行业产品标准（送审稿）。

2.3 车载复合材料储氢气瓶服役检测监测与诊断评估技术（应用示范类）

研究内容：针对在用车载复合材料高压储氢气瓶的服役性能退化问题和运行维护需求，开展定期检验、检测、监测

与安全评估技术研究，具体内容包括：复合材料层与内衬典型损伤的高精度离线扫查、在线检测监测及安全评估技术；复合材料高压储氢系统充装速率监测和氢泄漏感知等技术；复合材料储氢瓶风险早期识别及风险演化规律；复合材料储氢瓶寿命评价与定期检验方法；开发具有损伤早期识别、定量评估、应变监测、安全状况诊断功能的复合材料储氢气瓶结构健康监测系统。

考核指标：建立车载复合材料高压储氢气瓶定期检验、在线检测监测与诊断评估等新技术方法 ≥ 8 项；开发定期检验、在线检测监测、充装速率监测、泄漏感知相关装备 ≥ 6 套；车载复合材料储氢气瓶离线扫查系统达到闭合裂纹检测灵敏度 $\leq 0.35\text{mm}$ ，分层/纤维断裂面积检测灵敏度优于 $\phi 4\text{mm}$ ；在线监测系统达到开口裂纹检测灵敏度 $\leq 0.5\text{mm}$ ；寿命预测模型误差 $< 15\%$ ；制修订复合材料高压气瓶定期检验、在线检测监测相关国家/行业标准 ≥ 2 项。

2.4 气氢与液氢容器及管件泄漏、燃烧与爆炸行为分析和材质要求（共性关键技术类）

研究内容：针对氢能及燃料电池产业对储氢装置在生产、储运、加注和使用全链条过程中“耐高压、高密封及燃爆安全”等性能的全面需求，开展氢容器及管件安全健康诊断方法、失效-泄漏-燃烧-爆炸全过程灾害风险演化模型、氢能爆炸时空演化规律、安全防护装备与应急救援研究，具体内容包括：研究氢气泄漏行为的全链条表征与评价，研究高速碰撞下储氢装置的失效破坏模式，提出气氢及液氢泄漏-扩散-爆炸风

险全链条预测评估模型；研究适用于加氢站、灌装厂等场景下氢气燃爆发展规律与毁伤机制，揭示氢容器在典型失效条件下的爆炸判据和失效特征；提出氢容器燃烧与爆炸防护基准策略，研制系列爆炸冲击防护材料和隔爆、抑爆材料；研究储氢及临氢装置的本质安全设计方法，形成储氢装置的全面安全健康诊断方法和具有高燃爆防护效应的储氢容器设计准则；研究氢能爆炸事故现场应急处置部署决策技术方案及实现方法，综合提升氢能爆炸应急自救及消防救援能力。

考核指标：构建氢气泄漏检测及氢气火焰识别方法，通风或惰性气体稀释装置的快速联动响应时间 $\leq 1s$ ；建立典型公共场所车载高压氢气泄漏扩散预测模型，预测误差 $\leq 15\%$ ；建立高压氢泄漏自燃的引发机理及判据，泄漏压力 $\leq 10MPa$ ；揭示大尺度开敞空间氢气云爆炸传播特征，超压预测模型精度 $\geq 90\%$ ；提出氢容器燃烧和爆炸的安全防护方法，设计适用于加氢站和灌装厂的新型抗燃抗爆氢容器，泄漏爆炸不引起临近容器殉爆，爆炸破片速度 $\geq 100m/s$ （动能 $\geq 900J$ ）不发生穿透；提出储氢装置安全指标体系，建立储氢装置运行全过程健康诊断评估方法；构建加氢站及灌装厂等典型氢能场景下燃爆风险实时应急预警系统，系统反应时间 $\leq 5min$ 。

2.5 搭载瓶装氢气燃料电池汽车转运与集中存放技术与规范（共性关键技术类）

研究内容：基于燃料电池车辆应用中车辆停放、跨地域运输需要，研究车辆带氢运输、与燃油车混合运输过程中，在公路隧道、轮船、停车场等封闭、半封闭、开放典型场景

下，集中运输和停放技术，具体内容包括：研究轮船吊装过程、服务区和停车厂氢燃料电池汽车停放过程的风险识别与评价技术；研究搭载瓶装氢气燃料电池车辆转运与集中存放安全技术要求；研究停放/运输氢燃料汽车，在典型密闭、半密闭、开放场景下，氢气安全区间快速识别监测、预警、评价技术；研究氢燃料电池汽车高风险场景安全防范技术；研究典型场景氢泄漏扩散仿真与应急救援技术。

考核指标：建立针对车辆带氢运输、存放的安全风险分析与评测方法，并完成示范应用 ≥ 5 项；形成不同场景下的燃料电池汽车运输、存放、风险评价国家/行业标准报批稿 ≥ 2 项；建立叠加 20 至 1000 辆混合停车场存放或运输的在线监测系统 1 套，氢燃料电池汽车储氢瓶在线监测系统 1 套，覆盖泄漏、过载、超温等主要风险点，形成燃料电池汽车储氢瓶在线监测国家/行业标准报批稿 ≥ 1 项。

2.6 中低压纯氢与掺氢燃气管道输送及其应用关键技术 (共性关键技术类)

研究内容：针对城镇地区用氢需求，开展中低压纯氢与掺氢（5%-20%）燃气管道输送及其应用关键技术研究，具体内容包括：管材中渗氢扩散机理，管材对纯氢/掺氢输送的相容性研究，纯氢/掺氢输送架空和埋地管道连接工艺；管道中掺氢传质运输机理，多级减压和调压技术，纯氢/掺氢燃气管输工艺，掺氢设备研发；纯氢/掺氢燃气管道和关键设备的安全事故特征和演化规律研究、完整性管理及应急抢修技术；氢气分离工艺与设备研发及末端增压技术；纯氢管道输送试

验管线；纯氢/掺氢家用燃烧器、换热器内传热传质机理及结构优化研究、形成家用燃气灶、家用热水器及末端增加装置等试验平台。

考核指标：形成中低压纯氢/掺氢燃气管输工艺行业/国家标准或标准送审稿 1~2 项，研发流量随动精准掺氢设备 1 套；开发纯氢及掺氢燃气管道完整性评估软件 1 套；氢气分离纯度 $\geq 99.999\%$ ；建成纯氢管道输送试验平台：管径 $\geq 300\text{mm}$ ，最高压力 $\leq 4\text{MPa}$ ，长度 $\geq 4\text{km}$ ，输氢总量 ≥ 5000 吨/年，气密性试验 1.1P 下泄漏率 $< 0.3\%/h$ （试验时间 24h），材料满足实际输氢工作条件下抗氢脆等要求；进户压力 $\geq 2.0\text{kPa}$ ，家用燃氢热水器热效率 $\geq 80\%$ ，家用燃氢灶具热负荷 $\geq 3.0\text{kW}$ ，燃烧烟气中的氮氧化物含量 $\leq 0.015\%$ ；末端增压装置增压至 0.2MPa。

3. 氢能便捷改质与高效动力系统

3.1 跨温区新型全氟质子膜研究（基础研究类）

研究内容：针对燃料电池快速冷启动和系统简化需求，设计具有跨温区工作能力的全氟质子聚合物结构，突破其单体合成、聚合、成膜及工程化制造技术，包括：兼具低温质子传导能力和高温稳定性的离子聚合物结构设计及多元协同质子传导机理；全氟离子功能单体的合成及其聚合技术；宽服役温度、长寿命全氟离子聚合物与增强体的高效复合结构，新型质子交换膜成膜工艺及其工程化制造技术；多元复合全氟质子膜在燃料电池中的应用研究。

考核指标：全氟质子聚合物单体纯度 $\geq 99\%$ ；聚合物分子量 ≥ 25 万、交换容量（IEC） $\geq 1.25\text{mmol/g}$ ；玻璃化转变温度

≥130°C (在相当于 60~120°C、50%RH 工作条件的水合状态下)、≥160°C(干态条件下), 聚合物分子量热分解温度≥350°C; 质子交换膜 EW≤ 900g/mmol, 工作温度范围-30~120°C (膜电极实际工作条件), 电导率≥45S/cm²(60~120°C、50%RH)、≥5S/cm²(-30~0°C, 膜电极实际工作条件), 机械强度≥50MPa, 干湿循环耐久性≥20000 次; 批量制造厚度偏差≤±1μm、成品率≥99%。

3.2 低成本长寿命碱性膜燃料电池电堆研制 (基础研究类)

研究内容: 针对低成本基站用不间断电源需求, 突破千瓦级非铂碱性膜燃料电池电堆、材料及其组件关键技术, 具体内容包括: 研究高活性阳极非铂催化剂和阴极非贵金属催化剂的制备技术; 开发非贵金属催化电极的高效传质结构与制备技术; 研究≥80°C工况下碱性燃料电池的水管理技术, 实现碱性燃料电池电堆的高性能输出; 研究碱性条件下电解质及电极结构对 CO₂ 的敏感性、自由基对碱性聚电解质的攻击等关键问题, 实现氢气/空气条件下碱性燃料电池电堆的长寿命运行。

考核指标: 氢电极使用非铂催化剂、氧电极使用非贵金属催化剂, 膜电极中贵金属催化剂用量≤0.05mg/cm²、氧还原催化剂活性≥0.044A/cm²@0.9V_{IR-free}; 碱性膜电导率≥45 S/cm²(25-80°C)、氧传输阻力≤10s/cm; 碱性膜燃料电池电堆功率≥2kW、功率密度≥1W/cm², 氢气/空气操作寿命≥2000h (实测, 性能下降≤10%)。

3.3 电站用高效长寿命膜电极技术（共性关键技术类）

研究内容：针对固定式电站对燃料电池长寿命和高效率的应用需求，开展发电用燃料电池膜电极设计、制备及寿命关键技术研究，具体内容包括：膜电极关键材料催化剂、质子交换膜、扩散层在发电工况下的衰减规律与结构强化技术，提升膜电极寿命和抗 CO 能力；突破电站用膜电极催化层低极化和扩散层高传质技术，降低催化剂用量、提升电池能量转化效率和功率密度；突破膜电极高可靠性一次成型封装结构及其工程化制备技术，提升膜电极产能、批量制备的一致性和可靠性。

考核指标：基于发电稳态工况，膜电极在额定工作点电压衰减率 $\leq 10\% @ 40000h$ （实际测试 10000h，性能衰减 $\leq 2\%$ ）；膜电极 Pt 载量 $\leq 0.25\text{mg}/\text{cm}^2$ ，性能 $\geq 0.80\text{V} @ 0.4\text{A}/\text{cm}^2$ 、 $\geq 0.70\text{V} @ 1.2\text{A}/\text{cm}^2$ （空气压力 $\leq 150\text{kPa}_{\text{abs}}$ 、氢气 CO $@ 5\text{ppm}$ ）；基于高可靠性一次成型封装结构，开发的膜电极在设计寿命范围内满足氢气渗透要求、年产能 ≥ 30 万片，性能偏差 $\leq 20\text{mV}$ （ $1.2\text{A}/\text{cm}^2$ 工况条件，抽检样本 ≥ 300 片）；建立涵盖催化剂、离聚物、质子交换膜等关键材料的性能衰减预测模型，性能衰减预测误差 $\leq 10\%$ 。

3.4 住宅用质子交换膜燃料电池综合供能系统集成关键技术（共性关键技术类）

研究内容：综合考虑质子交换膜燃料电池（PEMFC）的产电、产热特性以及住宅场景的电、热能需求，开展住宅用 PEMFC 热电联供系统及其关键技术的研究，具体内容包括：

研究典型住宅场景热电用能模式与影响因素，以及燃料电池热电动态耦合运行机制、能量协同管控技术；研究固定式住宅用燃料电池热电联供系统集成优化及运行状态实时监测诊断技术；开发固定式住宅用燃料电池热电联供系统的关键器件及测试评价技术；开发耦合燃料电池的高效余热回收、蓄热及电辅热技术；研究家用燃料电池热电联供系统接入电网技术，研发低成本的自适应并网控制器。

考核指标：基于管道氢燃料的 PEMFC 热电联供系统中 PEMFC 电堆功率密度 $\geq 0.8\text{kW/L}$ ；系统额定功率 $\geq 1\text{kW}$ ，峰值发电效率 $\geq 50\%$ ，热电联供效率 $\geq 85\%$ ；住宅热电需求与燃料电池热电输出功率匹配度 $\geq 95\%$ ，功率控制响应时间 $\leq 100\text{ms}$ ，实测寿命 $\geq 7500\text{h}$ ，目标寿命 $\geq 40000\text{h}$ ，具备 $\geq 5\text{min}$ 抗 200ppm CO 冲击能力，电流过载能力 ≥ 2 倍@100ms，单一家用电器冲击下电压恢复时间 $\leq 10\text{ms}$ ，电网控制指令响应时间 $\leq 2\text{s}$ ，满足家用电气安全、电能质量等相关标准；万套级系统成本 ≤ 5000 元/kW。

3.5 管式固体氧化物燃料电池发电单元及电堆关键技术 (共性关键技术类)

研究内容：针对发电供能领域对高效、长寿命固体氧化物燃料电池的需求，开展管式固体氧化物燃料电池用电解质膜、单电池、电堆的制备工艺与工程化研究，具体内容包括：开发针对管式结构特征的致密电解质膜的制备工艺和生产装备；研究兼具高输出功率和高运行可靠性的管式单电池的结构及其制造方法；研究管式单电池及电堆模块的热、电、

应力分布规律，确立管式电堆的组堆方式及热管理策略；研究运行条件对电堆效率及运行寿命的影响规律，确立管式固体氧化物燃料电池电堆模块组装技术，同时确立管式电池、电堆的工程化技术。

考核指标：单个管式电池的空载电压大于 20V，输出功率密度 $\geq 0.4\text{W}/\text{cm}^2$ ，最大输出功率 $\geq 100\text{W}$ ，稳定运行工况下每 1000h 的衰减率 $\leq 5\%$ ；管式电池支撑体平直度 $\leq 2\text{L}\%$ ，孔隙率 $\geq 25\%$ ，抗弯强度 $\geq 50\text{MPa}$ ，外表面孔径 $\leq 50\mu\text{m}$ ；可级联放大的电堆模块功率 $\geq 2.0\text{kW}$ ，初始电效率 $\geq 55\%$ ，冷热循环电效率衰减 $\leq 0.2\%/次@100$ 次，连续运行时间 $\geq 1000\text{h}$ (实测)，电堆预期寿命 $\geq 20000\text{h}$ 。

3.6 高精度电堆组装及成套批量制造装备技术（应用示范类）

研究内容：针对车用燃料电池电堆高功率密度、长寿命、高效批量化制造需求，突破国产化关键零部件和电堆制造、装配、活化等关键技术，具体内容包括：膜电极高精度、高效率量产工艺及工程化制造装备；金属双极板高精度成形、高稳定性涂层连续化制备工艺及装备；电堆组件的高速堆叠、高精度对位、差异化组件抓取、自动化装配工艺及装备；电堆快速活化技术及装备，形成电堆及其关键组件的自动化、高可靠性批量生产能力。

考核指标：工艺研发对应的电堆产品应满足额定功率 $\geq 120\text{kW}$ ，支持 -30°C 低温启动，寿命 $\geq 10000\text{h}$ (峰值功率点电压下降 20%)；所研制装备膜电极产能 ≥ 10 万平方米/年、批

量制造合格率 $\geq 99\%$ 、批量制造过程催化剂损耗率 $\leq 5\%$ 、催化层厚度偏差 $\leq \pm 0.5\mu\text{m}$ ；所研制装备双极板产能 ≥ 500 万片/年，批量制造合格率 $\geq 99\%$ ，双极板厚度一致性偏差 $\leq \pm 10\mu\text{m}$ ；所研制装备电堆组件堆叠节拍 $\leq 2\text{s}$ /片、组件直接对齐偏差 $\leq \pm 0.08\text{mm}$ 、产能 ≥ 10000 台电堆/年，电堆生产过程能力指数 $C_{pk} \geq 1.33$ ，活化时间 $\leq 2\text{h}$ ；成套工艺装备输出电堆样本的功率偏差 $\leq 2\%$ @额定电流，无故障时间 $\geq 5000\text{h}$ 。

4. “氢进万家”综合示范

4.1 “氢进万家”综合示范工程（应用示范类）

研究内容：针对我国氢的获取途径少、加注成本高、利用方式单一的现状，实施“氢进万家”综合示范工程——选择富氢地区，集成氢能和燃料电池创新链研发成果，包括：氢气纯化、电解水制氢、氢气压缩、各种储氢以及不同类型与功率燃料电池驱动的载运工具、热电联供、备用电源等技术，开展集成工业副产气纯化、风电/光伏电解水等氢能制取方式，储罐存氢、管道输氢、槽车运氢、车辆加氢等氢能储输方式，车辆燃料电池驱动、社区燃料电池供能、通讯燃料电池电源等用氢方式的“制-储-输-用”综合验证示范，具体内容包括：因地制宜的绿色氢源方案及集成，中低压纯氢管网设计、敷设及对应的燃气标准草案，城市燃气天然气掺氢技术、不同掺氢比例对终端设备的影响及对应的燃气标准草案，终端用户安装家用燃料电池系统综合供能及并网技术实证及对应的标准规范，实现氢能驱动的家庭冷热电联供及并网，纯氢管道与加氢站衔接适配技术及加氢母站规范，高速公路零碳

排放的氢能高速服务区集成与规范，既要有效支撑燃料电池汽车示范应用，也要探索出更广泛的氢能户用方案，为氢能的大规模推广应用奠定基础。

考核指标：综合示范工程涵盖范围：跨城际、城镇、城乡，制氢能力 ≥ 20 吨/天、验证期内氢气累计使用量 ≥ 1 万吨，中低压纯氢管网建设 $\geq 100\text{km}$ 、部署 ≥ 15 座加氢站、高速公路零碳氢能服务区 ≥ 2 个，氢能社区应用覆盖 ≥ 10 万户、燃料电池热电联供装机 ≥ 1 万户，支撑燃料电池车辆 ≥ 3000 辆的验证运行；建成覆盖氢能“制-储-输-用”综合验证示范的数据监控与优化云平台，制订地方/行业/国家标准规范 ≥ 20 项。

“储能与智能电网技术”重点专项

2021 年度项目申报指南建议

(征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“储能与智能电网技术”重点专项。本重点专项总体目标是：通过储能与智能电网基础科学和共性关键技术研究的布局，推动具有重大影响的原始创新科技成果的产生，着力突破共性关键技术，增强创新能力建设，促进科技成果转化和产业化，从而保证未来高比例可再生能源发电格局下电力供应的安全可靠性、环境友好性、经济性和可持续发展能力，推动我国能源转型整体目标的实现，为实现 2030 年“碳达峰”和 2060 年“碳中和”的战略目标，提供坚实的技术支撑。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，拟围绕中长时间尺度储能技术、短时高频储能技术、高比例可再生能源主动支撑技术、特大型交直流混联电网安全高效运行技术、多元用户供需互动用电与能效提升技术、基础支撑技术 6 个技术方向，启动 21 个指南任务。

1. 中长时间尺度储能技术

1.1 吉瓦时级锂离子电池储能系统技术（共性关键技术类）

研究内容：针对高比例可再生能源并网消纳及电力供应峰谷差加剧问题，研究适用于吉瓦时级应用的新型锂离子电池规模储能技术，具体包括：研究低锂离子消耗、高能量效率的电化学体系，开发宽温区、超长寿命、高能量转换效率、低成本新型锂离子储能电池；高电压电池系统集成技术；系统级消防安全及高效液冷热管理与消防耦合的技术；吉瓦时级锂电储能系统集成技术及智能管理系统。

考核指标：锂离子电池循环寿命 ≥ 15000 次（0.5倍额定充电功率/0.5倍额定放电功率， 25°C ，100%放电深度（DOD）），支持两小时以上储能，电池系统电压 ≥ 1500 伏，系统能量转换效率 $\geq 90\%$ （含运行功耗），额定功率 ≥ 1 倍充放电额定功率，1分钟持续峰值功率 ≥ 2 倍充放电额定功率，预期服役寿命 ≥ 25 年，系统应用规模 ≥ 1 吉瓦时，等效度电成本 ≤ 0.1 元/千瓦时。

1.2 兆瓦时级本质安全固态锂离子储能电池技术（共性关键技术类）

研究内容：针对包括可再生能源接入等各类中长时间尺度的储能需求，研究具有高安全长寿命的固态锂离子储能电池技术，具体包括开发全寿命周期具有低电阻和高稳定性的固态电解质膜与电极材料；本质安全、长寿命、低内阻的界面与电极结构及储能型固态锂离子电池电芯开发；适应全气候域应用、具有高成组效率、高可靠性的模组、系统和储能电站设计；固态储能锂离子电池的失效分析、在线检测、状态预测和预警以及热失控行为研究。

考核指标：揭示离子在复合固态体系中的高速传输机制，了解固态电池的热失控、结构演化与寿命衰减行为，突破储能型固态电池的关键材料、电芯设计与系统设计，滥用下系统不发生热失控。电池单体循环寿命 ≥ 15000 次，单体成本 ≤ 0.35 元/瓦时；研制10兆瓦时级固态储能锂离子电池系统，系统循环性 ≥ 12000 次，环境适应温度 -40°C 至 60°C ，支持2小时以上储能，同时支持5C倍率放电，响应速度 ≤ 200 毫秒，综合能量效率 $\geq 90\%$ ，等效度电成本 ≤ 0.2 元/千瓦时。

1.3 金属硫基储能电池（基础研究类）

研究内容：针对中短时长大规模储能发展对于降低成本、减少资源依赖的需求，研究基于锂/钠等金属负极和含硫正极的本质安全、低成本和长寿命金属硫基储能电池。具体包括：高比容量、高面容量金属或合金负极、含硫正极、本质安全电解液或固态电解质、多功能隔膜与粘结剂等关键材料的设计与低成本规模化制备技术；力、电、热耦合条件下金属硫基储能电池界面反应热力学、动力学、稳定性行为研究；电池电芯、模组、系统的模拟仿真、原位与非原位表征以及失效机制分析；长寿命电池的电芯、模组、系统的设计、研制、智能管理控制、环境适应性和安全性的评测和改进技术。

考核指标：金属硫基储能电池单体在充放电倍率 $\geq 0.5\text{C}$ 和放电深度80% DOD条件下循环寿命 ≥ 15000 次；研制出100千瓦时级金属硫基储能电池系统，系统能量转换效率 $\geq 80\%$ ，循环寿命 ≥ 12000 次， -20°C 工作环境下放电容量保持率 $\geq 80\%$ ，月自放电 $\leq 1.0\%$ ，系统成本 ≤ 0.6 元/瓦时，安全性

达到储能国标要求。

2. 短时高频储能技术

2.1 低成本混合型超级电容器关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对负荷跟踪、系统调频、无功支持及机械能回收等分钟级功率补充等应用需求，研究开发兼具高能量、高功率和长寿命的低成本储能器件，具体包括：混合型超级电容器材料体系、复合电极及器件的优化设计和关键材料国产化；“能量-功率-寿命”和“热-电-寿命”的耦合模型及寿命衰减机制的模拟仿真和试验验证；兆瓦级储能系统集成技术；不同应用场景混合型超级电容器系统服役的失效机理和改性。

考核指标：单体能量 ≥ 15 瓦时，比能量 ≥ 70 瓦时/千克，10 秒充/放电比功率 ≥ 10 千瓦/千克，实测最大比功率 ≥ 30 千瓦/千克；80 % DOD 循环寿命 ≥ 20 万次， $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ & $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 放电容量保持率 $\geq 60\%$ ，安全性满足标准；储能系统 ≥ 200 千瓦时，功率响应 ≥ 1 兆瓦，最优充/放电能效 $\geq 95\%$ ；15 分钟级储能工况系统成本 ≤ 1 元/瓦，1 分钟级储能工况系统成本 ≤ 0.4 元/瓦。

3. 高比例可再生能源主动支撑技术

3.1 光伏/风电场站暂态频率电压主动快速支撑技术（共性关键技术类）

研究内容：针对提高光伏/风电高占比电力系统运行稳定性和消纳能力的迫切需求，研究光伏/风电场站对电力系统暂

态频率电压的主动支撑技术，具体包括：光伏/风电场站实时调节能力动态评估技术；适应可再生能源资源特性的光伏/风电场站快速频率响应及支撑技术；光伏/风电场站多无功源协同暂态电压控制技术；光伏/风电场站暂态支撑多级协同优化技术；光伏/风电场站主动支撑控制系统研制开发。

考核指标：光伏/风电场站控制系统具备场站调节能力动态评估和暂态主动支撑功能，暂态电压控制响应时间不大于 50 毫秒，无功调节能力不小于场站额定容量 20%；快速频率控制响应时间不大于 200 毫秒；有功控制响应时间不大于 100 毫秒；在可用有功出力范围内上调幅度不小于 10%、下调幅度不小于 20%场站额定容量；控制系统可接入发电单元数量不小于 200 台，在装机容量不小于 100 兆瓦的光伏电站或风电场验证。

3.2 柔性直流海上换流平台轻型化关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对远海风电大规模开发和输送的需求，研究高压大容量柔性直流海上换流平台的轻型化技术，具体包括：海上风电直流输电系统拓扑及过电压与绝缘配合方法；柔性直流换流阀轻型化设计及抗震技术；高压直流气体绝缘开关（GIS）关键技术及样机研制；换流平台与电气主设备的紧凑化协同设计技术；1000 兆瓦柔性直流轻型化换流平台工程方案典型设计。

考核指标：提出柔性直流输电技术在海上风电送出并网中的适用范围；针对海上风电送出 1000 兆瓦柔性直流轻型

化换流平台，提出换流阀紧凑化设计方法，体积和重量比陆上用同参数设备减小 30%；直流 GIS 样机额定电压不小于 ± 320 千伏，操作冲击过电压耐受水平不小于 850 千伏，雷电冲击过电压耐受水平不小于 950 千伏，体积较敞开式空气绝缘布置减小 60%以上；平台设计重量不超过 1.2 万吨（不含平台桩基结构）。

3.3 规模化储能系统集群智能协同控制关键技术研究及应用（共性关键技术类）

研究内容：针对双碳目标场景下电力系统储能应用场景，研究规模化储能系统集群智能协同控制关键技术，具体包括：研究兼顾灵活性、安全性和经济性约束的电力系统储能优化智能配置技术；研究规模化储能系统特性及其与风、光、水、火等电源联合优化运行技术和稳定支撑技术；研究规模化储能系统电网主动支撑能力和评估指标；研究多场景下储能参与调峰、调频和紧急功率支撑等电力辅助服务的成本和价值评价方法；研究规模化储能支撑新能源特高压外送技术。

考核指标：研究提出规模化储能集群智能协同控制策略；建立规模化储能系统电网主动支撑能力评价指标体系；形成规模化储能配置和调度运行导则（标准）；研发规模化储能集群智能协同控制平台，具备规模化储能与多类型电源联合优化运行、协同稳定支撑、支撑清洁能源特高压外送和辅助服务边际成本量化分析等功能，支持集群储能容量规模不小于 1 吉瓦/2 吉瓦时。

4. 特大型交直流混联电网安全高效运行技术

4.1 响应驱动的大电网稳定性智能增强分析与控制技术

（共性关键技术类）

研究内容：针对现有安全稳定控制系统无法有效保障复杂非预想故障情况下电网安全运行的问题，研究响应驱动的大电网智能增强稳定分析与控制技术，具体包括：含高比例可再生能源的交直流混联电网受扰后电气量的时空分布特性和稳定特性；关键响应特征提取及稳定性判别技术；提升响应驱动稳定性判别可信度的混合增强智能分析技术；非预案式的电力系统自主协同稳定控制技术；研发响应驱动的大电网稳定性混合智能增强分析与控制系统。

考核指标：研发稳定性混合智能增强分析与控制系统，与至少含 30 台同步电源、15 个风/光可再生能源场站、3 回直流和 1 万三相节点规模电网的全电磁暂态仿真结论进行对比测试，其中运行方式不少于 10 套典型方式及连续 30 天峰谷平实际方式，故障集覆盖范围不小于 50% 的 500 千伏及以上交直流线路，稳定判别方法对失稳样本的正确识别率达到 100%，对稳定样本的误报率小于 5%，单次判断时间小于 150 毫秒。

4.2 多馈入高压直流输电系统换相失败防御技术（共性关键技术类）

研究内容：针对多馈入直流系统发生换相失败后，可能导致连锁故障并严重影响电网稳定的问题，研究多馈入直流换相失败的多层级综合防御技术，具体包括：多馈入直流系统换相失败及其与电网相互作用机理；考虑交直流混联电网稳定约束的换相失败防御方法；可防御换相失败的新型直流

换流器样机研制及等效试验技术；多馈入直流系统数字物理仿真平台技术；防御换相失败的直流输电系统设计及控制保护技术。

考核指标：提出抵御换相失败的多层级综合防治方法，可使多馈入直流系统发生连续换相失败的概率降低 80% 以上；针对新建及在运直流工程分别提出可防御换相失败的新型换流器拓扑；研制抵御换相失败的换流阀及阀控样机，换流阀额定电流不低于 5 千安；建成包含至少 5 条直流系统详细模型的数字物理仿真平台；完成至少一种新型换流器在 ± 800 千伏/5 千安的受端换流站应用。

4.3 ± 800 千伏换流变压器有载调压分接开关技术及装备（共性关键技术类）

研究内容：针对 ± 800 千伏换流变压器用有载分接开关国产化重大应用需求，研究有载分接开关材料基础理论、拓扑结构与工艺制造等核心技术，具体包括： ± 800 千伏换流变压器有载分接开关运行应力条件及复杂工况影响机理；有载分接开关故障失效机理与防御技术；有载分接开关拓扑结构设计及多场耦合仿真技术；有载分接开关原材料及组部件设计选型与性能验证； ± 800 千伏换流变压器用有载分接开关样机研制与性能试验关键技术。

考核指标：研制 ± 800 千伏换流变压器有载分接开关样机，额定级容量 6000 千伏安，额定级电压 6 千伏，最大额定通流 1.5 千安；电气寿命不小于 30 万次，机械寿命不小于 150 万次；耐受短路电流能力（峰值/有效值/时间）不小于 51 千

安/20 千安/3 秒；满足 6 千伏/2 千安和 4 千伏/3 千安各开断 100 次；谐波切换能力满足额定电流谐波条件下（相关性不低于 85%）切换 1 万次；暂态过电压条件下（中心频率不小于 5 千赫兹、峰值倍数不小于 1.6）具备切换 1 千次的的能力。

4.4 基于自主芯片的变电站高可靠性保护与监控技术（共性关键技术类）

研究内容：针对变电站保护与监控系统软硬件自主可控程度低、站内设备监控水平亟待提升等问题，研究全面采用自主芯片及操作系统的高性能保护及监控技术，具体包括：安全、集约、协同、兼容的变电站保护与监控体系架构；基于自主芯片的硬件架构及内生安全的设备研制；全过程实时数据高精度统一采集及高效安全传输技术；保护系统采、传、算、控、监全环节整体可靠性提升技术；基于国产操作系统的主辅设备全景监控预警技术与多级协同的系统开发。

考核指标：提出高可靠性变电站保护与监控系统整体架构，研制基于全国产化软硬件的 35 千伏～500 千伏电压等级变电站保护设备和监控系统样机，并通过工程验证，保护设备可耐受电磁干扰性能不低于标准要求（在 A 级快速瞬变、雷电波 4 千伏冲击干扰下保护动作值误差不超过 5%），监控系统接入数据容量不低于 10 万点，单节点实时计算能力不低于 20 万次/秒，支持模拟量、累积量、同步相量、故障录波、报文、模型、图形和报告等多类型数据。

4.5 柔性低频输电关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对中、远距离海上风电高效汇集送出的迫

切需求，研究新型柔性低频交流输电系统构建与核心装备技术，具体包括：低频输电频率对输电系统和设备特性的影响规律；低频输电系统构建方案及系统控制保护技术；大容量交交流流拓扑及异频能量交互控制技术；计及各级换流器暂态特性的低频输电系统过电压特性和设备绝缘配合；低频输电系统短路开断技术及断路器等核心装备样机研制与试验检测技术。

考核指标：提出海上风电柔性低频汇集送出系统典型方案及抑制过电压用避雷器配置和高盐雾环境下外绝缘配合方案，研制柔性低频交流输电核心装备并完成工程验证：交交流流器样机容量不低于 220 千伏等级/100 兆伏安，效率不低于 98%，频率变换比不小于 2；断路器样机额定电压/电流不小于 250 千伏/3150 安，额定短路开断电流不小于 50 千安；线路快速保护装置故障检测时间不超过 3 毫秒。

5. 多元用户供需互动与能效提升技术

5.1 规模化灵活资源虚拟电厂聚合互动调控关键技术 (共性关键技术类)

研究内容：针对大规模分布式资源参与电网互动调节的重大应用需求，研究规模化灵活资源虚拟电厂聚合互动调控技术，具体包括：虚拟电厂分层分区动态构建、响应能力量化分析技术；虚拟电厂通信网络调度及业务承载时延控制技术；海量异构终端实时安全接入及用户隐私数据保护技术；基于区块链的分布式可信交易技术；虚拟电厂分布式协同互动运行控制技术。

考核指标：研发“云边协同+物联网技术+人工智能”架构的虚拟电厂协同互动调控系统，支持百万数量级智能终端即插即用安全接入，支持覆盖源、网、荷、储各环节不少于 10 个区块链交易节点，交易共识达成时间小于 1 秒；建成的虚拟电厂含分布式电源总容量不低于 300 兆瓦，可调节资源总容量 1000 兆瓦以上，其中快速调频容量不低于 50 兆瓦，快速调频指令响应时延小于 30 毫秒；可实现最高峰值负荷降低 6%以上。

5.2 配电网业务资源协同及互操作关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对配电网及海量充电桩、分布式电源等监控设备数据接入管控以及跨业务、跨应用、跨角色数据共享与业务应用需求，研究配电网业务资源协同及互操作关键技术，具体包括：跨域跨应用的配电网运行数据共享体系及互操作技术；配电网业务资源的统一数据建模及语义贯通关键技术；配电网智能设备的即插即用关键技术；配电网边缘计算平台技术及系列化软件定义智能终端；动态可伸缩的配电网云平台微服务架构及云边端协同应用技术。

考核指标：兼容智能断路器、智能换相开关、无功补偿装置、电动汽车充电桩及分布式电源并网点监控 5 种关键装置的即插即用；边缘计算平台的内核自主化率 100%，支持 ARM、MIPS 架构处理器，支持至少 10 款不同终端 APP 同时运行，APP 可兼容不同硬件平台；软件定义馈线终端、站所终端、台区终端采用国产 CPU 和边缘计算平台；智能终

端管控平台实现百万级智能终端并发接入与管理；支持 5 类以上应用场景，末端应用响应时间不超过 1 分钟。

6. 基础支撑技术

6.1 新型环保绝缘气体研发与应用（基础研究类）

研究内容：针对电力系统中大量设备使用的 SF₆（六氟化硫）绝缘气体带来温室效应的问题，研究探索新型环保绝缘气体及其应用技术，具体包括：新型环保绝缘气体分子结构与理化特性；新型环保绝缘气体批量制备与精制提纯技术；新型环保绝缘气体工程用绝缘、灭弧特性与气固相容性；基于新型绝缘气体的 110 千伏环保输电管道（GIL）样机研制。

考核指标：研发并制备出 10 公斤级新型环保绝缘气体，全球变暖指数不超过 SF₆ 的 5%，0.1 兆帕下绝缘强度高于 SF₆，液化温度低于相同压力下的 C₄F₇N、C₅F₁₀O、C₆F₁₂O、CF₃I 和 c-C₄F₈ 气体，研制基于新型绝缘环保气体的 110 千伏环保 GIL 样机，并通过型式试验。

6.2 干式直流电容器用电介质薄膜材料（基础研究类）

研究内容：针对干式直流电容器用绝缘材料及其批量化生产的应用需求，研究超净聚丙烯粒料及电介质薄膜批量化制备、干式直流电容器应用及其可靠性评估技术，具体包括：电工级超净聚丙烯粒料关键参数调控与批量化制备技术；薄膜材料双向拉伸、电极蒸镀工艺及批量化制备技术；交直流电压叠加作用下薄膜材料绝缘、热稳定及自愈特性；基于国产化薄膜的干式直流电容器设计和研制；薄膜材料及直流电容器试验与可靠性评价技术。

考核指标： 单次批量化聚丙烯粒料不小于 18 吨，等规度不小于 98%、灰分不大于 35ppm；批量化双向拉伸聚丙烯薄膜不小于 10 吨，厚度不大于 8 微米，常温下直流击穿强度不小于 550 千伏/毫米、拉伸强度不小于 155 兆帕；研制的干式直流电容器，电压不低于 2.8 千伏、容量不小于 7.5 毫法，并通过换流阀组级工况验证。

6.3 高压大功率可关断器件驱动芯片关键技术（共性关键技术类）

研究内容： 针对高比例电力电子装备智能电网发展需求，研究高压大功率可关断器件驱动技术及自主化驱动芯片，具体包括：高压大功率可关断器件电压型和电流型驱动技术；高压大功率绝缘栅双极型晶体管（IGBT）用低功耗模拟驱动芯片设计；高压大功率 IGBT 用数字驱动芯片设计；高压大功率集成门极换流晶闸管（IGCT）电源与信号管理驱动芯片设计；基于自主驱动芯片的可关断器件驱动器开发与应用。

考核指标： 研制适用于 3300 伏及以下 IGBT 器件的模拟驱动芯片，功耗不超过 0.8 瓦；研制适用于 4500 伏和 6500 伏 IGBT 的数字驱动芯片，控制步长不超过 200 纳秒；研制适用于 4500 伏 IGCT 的电源与信号管理驱动芯片，关断换流时间小于 1 微秒；研制基于自主化芯片的 IGBT 和 IGCT 驱动器并进行应用验证。

6.4 高压电力装备多物理场计算方法及软件（基础研究类）

研究内容： 针对高压电力装备多物理场计算软件严重依

赖国外的问题，研究自主可控的多物理场计算方法及软件，具体包括：变压器、套管等典型电力装备的多场耦合机理及精确模型；适应复杂部件和拓扑结构的几何模型预处理和修复技术；适应场量非线性和大梯度变化的网格生成技术；平衡计算精度和效率的耦合场求解技术及显性自定义表达技术；变压器、套管和桥臂电抗器的多参数优化设计及可视化性能评估技术。

考核指标：研制的软件支持多种模式和功能模块的集成与定制开发，可实现 5000 万网格单元的电场、热场与机械应力的稳定计算，与主流商业软件相比，基准测试集的求解精度相当，计算效率提升 30%。

6.5 储能电池加速老化分析和寿命预测技术（共性关键技术类）

研究内容：针对锂离子电池储能系统全寿命周期对健康状况可知可控的要求，研究储能电池加速老化评估和寿命精准预测技术，具体包括：电池材料、电极、界面和单体在力、热、电、气、反应等多衰减因素耦合下的衰减机理；储能材料和器件的多尺度模拟仿真方法；储能单体、模组、系统在工况条件下寿命自然衰减的预测模型与模拟仿真；储能单体、模组、系统在加速老化条件下的寿命衰减预测模型和模拟仿真。

考核指标：开发高精度电池热力学状态评估方法，开路电压-充电状态（OCV-SOC）曲线预测电池绝对容量误差低于 1%；建立电解液消耗/浸润/残余、电池膨胀模量、电池原

位产气等关键衰减因子的量化评估方法及评估装置/平台，测试相对偏差低于 2%；对器件的电池健康状态（SOH）、充电状态（SOC）、温度分布、膨胀等模拟仿真结果的准确率高 于 90%；建立基于电 化学耦合算法的寿命预测机理模型，实现基于 1.5 个月的评估数据预测 30 年可靠性衰减图谱；基于对电池寿命衰减机理的理解，提出有效的改进方法，电池全生命周期运行总体效能提升 20%。

6.6 储能锂离子电池智能传感技术（基础研究类）

研究内容：针对储能锂离子电池提高运行效率、安全性、稳定性的迫切要求，研究基于单体电池内部和外部的在线数据实时准确监测方法，建立从单体锂离子电池到储能系统的智能管理系统。具体包括：研究锂离子电池单体内部温度、应力、气压和气体浓度、种类等传感技术；研究锂离子电池单体外部温度、应力、气压和气体浓度、种类等传感技术；研究储能电池单体植入式或外置式智能传感一体化集成技术；研究传感器监测信号通信技术；基于单体电池信息实时监测控制的储能系统管理技术及其典型应用。

考核指标：植入式传感器对储能锂离子电池容量（500 次循环）影响 < 5%；电解液环境对植入式传感器影响 < 5%；多种信号传输采样频率 > 100Hz；内部温度测量量程：-40 °C 至 60 °C，精度 ± 0.2 °C；内部应变测量量程：3000 $\mu\epsilon$ ，示值误差 < 5 $\mu\epsilon$ ；内部气压测量量程 2 MPa，精度 0.1 MPa；内部气体测试多于 2 种，精度 0 ~ 100 %（体积百分比）；内部电压测量范围 2.3 ~ 6.0 伏，误差 < 5%，内部电流测量误差 < 5%。

外置式传感器检测精度高于内置式；传感信号能实现有线或无线传输，并能实时采集、分析并发出预警指令。

6.7 锂离子电池储能系统全寿命周期应用安全技术（共性关键技术类）

研究内容：针对规模化电化学储能中面临的安全问题，开展锂离子电池储能器件的灾害演化机制及灾害防控技术研究，具体包括：研究不同装置层级锂离子电池热失控触发机理及动态扩散演变机制，研究全尺寸储能系统火灾特征及致灾危害综合评价技术，研究电池储能安全性能等级评价体系及标准；发展储能电池热失控阻隔技术，开发高效、主动安全的储能电池模块及电池簇；建立电池热失控征兆集，发展基于大数据分析的故障检测诊断技术，研发高效、可靠的全生命周期分级预警方法；开发清洁高效灭火技术，研究分等级应急处置技术。

考核指标：建立电池储能安全性能等级评价体系，研发的热失控阻隔技术实现电池模块内不发生热失控扩散，且电池簇内不产生冒烟现象；开发的全寿命周期电池故障诊断技术诊断准确率 $\geq 85\%$ ；开发一套适用于吉瓦时级的储能大数据监控系统，实现提前 1 天隐患预警，提前 15 分钟事故预警；研发出锂离子电池储能系统先进灭火技术，5 秒内扑灭电池初期火灾，24 小时不复燃，覆盖范围 ≥ 1 兆瓦时。

“新能源汽车”重点专项

2021 年度项目申报指南建议

（征求意见稿）

国家重点研发计划启动实施“新能源汽车”重点专项。本重点专项总体目标是：坚持纯电驱动发展战略，夯实产业基础研发能力，解决新能源汽车产业卡脖子关键技术问题，突破产业链核心瓶颈技术，实现关键环节自主可控，形成一批国际前瞻和领先的科技成果，巩固我国新能源汽车先发优势和规模领先优势，并逐步建立技术优势。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。按照分步实施、重点突出原则，2021 年度指南拟在能源动力、电驱系统、智能驾驶、车网融合、支撑技术、整车平台 6 个技术方向，启动 19 个指南任务。

1. 能源动力

1.1 全固态金属锂电池技术（基础研究）

研究内容：全固态电池中电极（正极、负极）与固体电解质界面稳定化与自修复机制；微结构固态复合正极（含活性材料、电解质、电子导电介质等）中电子、离子的输运特性；具有导电骨架结构的金属锂负极和固态电池中界面/结构对锂沉积形态的影响；超薄高离子电导率固体电解质层制备技术及面离子输运均匀性、机械强度、与正负极界面兼容性；

新型电池结构、干法电极、新型电解质层制备方法及其封装方式；电池内部温度/力学/电化场以及失效破坏等实验表征技术及固态电池综合评价方法。

考核指标：固态复合正极比容量大于 400 mAh/g；复合金属锂负极比容量大于 1500 mAh/g；固体电解质厚度 < 15 μ m，室温电导率 > 1 ms/cm，锂离子迁移数 > 0.8；全固态金属锂电池：容量 > 10 Ah，比能量 > 600 Wh/kg，1C 充放电条件循环寿命 > 1000 次。

1.2 高安全、全气候动力电池系统技术(共性关键技术)

研究内容：研究动力电池低温环境充放电性能衰减的电化学机理，研究加热方式、加热策略对电池安全、电池寿命的影响机制，研发动力电池系统无损极速加热新结构、新方法及其加热安全控制技术；研究全气候环境条件下动力电池系统安全充放电方法和控制管理技术，极端低温和高温条件下的耐候性，研发全气候电池系统技术；研究动力电池可靠性与车载振动、环境温度、动态载荷等交变应力的耦合关系及其疲劳损伤规律，高挤压强度下的安全性防护方法，电池系统故障诊断、安全评估与预警方法；研究动力电池系统热失控爆炸当量估计方法、热失控扩展路径及特性、热失控延缓和阻断控制机制；研发基于以上关键技术的高安全、全气候的新结构动力电池及动力电池系统。

考核指标：动力电池系统从 - 30 $^{\circ}$ C-0 $^{\circ}$ C升温时间 \leq 3min，且能耗占比 \leq 5%；动力电池系统内温度差异 \leq 5 $^{\circ}$ C（- 30 $^{\circ}$ C~0 $^{\circ}$ C）；动力电池无损加热循环使用寿命 \geq 300 次（环境

温度 - 30°C); 电池系统成组效率 $\geq 80\%$; 动力电池系统中异常电池识别率 $\geq 95\%$, 电池内短路故障诊断准确率 $\geq 90\%$ 。形成电池系统安全风险预测预警模型 ≥ 3 个, 建立安全风险评估体系和技术规范; 电池系统发生热扩散 90min 内不起火不爆炸 (电池热失控信号发出后); 电池系统 200kN 挤压不起火不爆炸; 全气候、高安全动力电池系统装车 ≥ 1000 辆 (乘用车) 或商用车 ≥ 100 辆。

1.3 车用固体氧化物燃料电池关键技术开发(基础研究)

研究内容: 针对不同燃料场景需求的车用燃料电池发电系统, 研究固体氧化物燃料电池 (SOFC) 关键部件、电堆、系统设计及集成技术, 主要包括: 优化电极微观结构, 研究高性能高可靠长方形电池结构设计及可控制备技术; 优化连接体结构及流场设计, 开发低成本连接体加工及涂层致密化技术; 开发一致性长寿命电堆组装技术, 形成电堆批量制造能力; 研发不同燃料处理技术及关键部件; 开发不同燃料场景应用的 SOFC 冷热电联供系统, 研究与 SOFC 耦合的快速启动响应技术, 提出效率优化与冷热电管控策略。

考核指标: 建立针对不同燃料场景应用的 SOFC 系统关键技术体系, 形成 SOFC 关键部件、电堆及系统的工程化技术。完成高可靠长方形电池的结构设计和验证, 电流密度 $\geq 300 \text{ mA/cm}^2$ 条件下, 电压衰减 $\leq 4\%/千小时$; 形成低成本金属连接体及涂层材料加工工艺; 掌握 SOFC 电堆的工程化技术, 单电堆功率 $\geq 1.0\text{kW}$, 电堆功率密度 $\geq 1.0\text{kW/L}$, 电效率 $\geq 60\%$; 完成氢气、天然气以及醇类等为燃料的固体氧化物

燃料电池冷热电联供系统开发，额定发电功率 $\geq 50\text{kW}$ ，启动时间秒级，3分钟达50%输出功率，发电效率 $\geq 55\%$ （DC，LHV），热电联供总效率 $\geq 85\%$ ，寿命 $\geq 5000\text{h}$ ，电压衰减 $\leq 5\%$ /千小时。

1.4 高密度大容量气氢车载储供系统设计及关键部件研制（共性关键技术）

研究内容：针对燃料电池重型车辆长途续航需求，研究车载储氢瓶、车载储氢系统设计、制造和检测技术，研究不同工况下大容量储氢的释放和泄露规律，研制车载70MPa大容量IV型瓶、集成瓶阀、储氢系统调压阀组、储氢系统控制器、氢气泄漏探测传感器等，形成高压力、大容量车载储氢系统。

针对大功率燃料电池发动机供氢需求，研究大流量、高动态等复杂工况条件下供氢系统集成与控制技术，研制氢气流量控制阀组、循环引射器、机械循环泵等核心部件。

针对燃料电池重型车辆快速加注需求，研究加氢口预冷高压大流量气氢在车载系统中的扩散、增压、升温等规律，获得稳定匹配与安全阈值控制技术，定义各部位材质循环加载要求、车载储氢系统受氢口与加氢枪的机械接口方式，开发面向高可靠、高安全的氢燃料快速加注操作流程、接插连接规范及通信协议。

考核指标：车载70MPa大容量IV型瓶储氢系统有效储氢质量 $\geq 32\text{kg}$ ，氢气泄漏率 $\leq 10\text{mL/h}$ ，供氢能力 $\geq 7\text{g/s}$ ，系统服役寿命 ≥ 10 年；制定系统零部件、总体结构、集成设计

等安全设计准则。其中，70MPa 氢IV型瓶满足 T/CATSI 02007-2020 要求、容积 $\geq 400\text{L}$ ，单瓶质量储氢密度 $\geq 6.8\text{wt}\%$ ，单位储氢能力碳纤维使用量 $< 10.7\text{kg/kg H}_2$ ；集成瓶阀设计压力 $\geq 70\text{MPa}$ ，内置电磁阀寿命 ≥ 50000 次，瓶阀功耗 $\leq 8\text{W}$ ，瓶阀质量 $\leq 1.2\text{kg}$ ，瓶阀集成电磁开关装置、过流量装置、超温超压泄放装置（TPRD）、温度检测装置和手动操作装置；调压阀组循环寿命 ≥ 50000 次，输出压力波动范围10%-15%，波动持续时间 $\leq 10\text{s}$ ，输出流量 $\geq 7\text{g/s}$ ，质量 $\leq 1.2\text{kg}$ ；车载氢系统控制器具备独立加氢模式、红外通讯、6路以上氢安全检测通道，具备加氢状态控制与停车氢安全巡检策略；加氢口及加氢枪加注速率 $\geq 7.2\text{kg/min}$ ，加氢口使用寿命 ≥ 20000 次，加注过程瓶内气温 $\leq 85^\circ\text{C}$ 。

大流量氢气流量控制阀组最大喷射流量 $\geq 7\text{g/s}$ (阀组流量)，内外氢气泄露率 $\leq 0.3\text{ mL/h@30bar}$ ，耐久性：喷射阀开闭次数不小于4亿次(比例电磁阀全开闭次数不小于500万次)；大流量氢循环引射器压升 $\geq 50\text{kPa}$ ，引射比 ≥ 2.2 ，电堆功率覆盖范围60-400 kW；大流量氢气循环泵系统压升 $\geq 50\text{kPa}$ (采用氢气混合气体，循环流量 $\geq 3000\text{slpm}$ ，氢气浓度 $\geq 90\%$)，功耗 $\leq 1.5\text{kW}$ ，效率 $\geq 46\%$ ，噪音 $\leq 70\text{ dB}$ ，寿命 $\geq 20000\text{h}$ 。

建立快速加注机械接口标准、通信协议和加注操作规范，并形成标准送审稿；加注协议标准符合国际通用需求。

2. 电驱系统

2.1 基于新材料和新器件的电驱动系统技术(基础研究)

研究内容: 研究基于铜合金和铜/纳米管等复合材料的高性能超级铜线及电机绕组制备技术，探索大电流 SiC MOSFET 芯片载流子输运性能高温骤降机理和抑制栅介质界面缺陷等可靠性增强方法，研究超低杂散参数/高效散热的 SiC 模块与组件协同优化技术，实现材料与器件优化。研究 SiC 电驱动系统新结构、多物理场集成和全域高效控制方法，研究 SiC 电驱动系统电磁兼容特性及抑制方法，解决 SiC 电驱动系统在高密度集成和高效控制的基础科学问题。开展新型电驱系统技术测试与分析，完成电驱系统前沿技术对标评价；开展车用服役条件下电驱系统功率器件、电机绝缘和轴承等系统致命故障检测、诊断和预测方法研究，形成电驱系统健康管理技术体系和标准规范。

考核指标: 在保证延展率和绝缘层依附性等参数不变条件下，超级铜线 180°C 下电阻率比铜线降低 20%，强度比普通铜线提高 10%；1200V 单芯片通流能力 $\geq 250\text{A}$ ，导通压降 $\leq 2.5\text{V}@250\text{A}/150^\circ\text{C}$ ，最高结温 250°C；SiC 电机控制器峰值功率密度 $\geq 70\text{kW/L}@$ 峰值功率 300kW，EMC 达 CISPR 等级 4 要求；提交电驱系统产品对标测试与技术分析报告共 5 份，每年样本量 2 套，提交电驱系统健康管理标准规范 1 项。

2.2 高性能轮毂电机及总成技术（共性关键技术）

研究内容: 高密度轮毂电机：研究高密度轮毂电机的电磁机热声等多物理场协同设计与仿真、故障诊断与容错控制、转矩脉动抑制、噪声抑制和可靠性与耐久性验证方法，开发轮毂电机的新材料、新结构和新工艺技术（包括冷却结构、

动密封等)。轮毂驱动系统集成：突破轮毂电机与制动、转向和悬架系统深度集成与转矩矢量分配技术难题，实现轮毂电机系统性能、功率密度和转矩密度的持续提升，为全新电动化底盘开发和产业化提供核心零部件支撑。

考核指标：直驱轮毂电机峰值扭矩密度 $\geq 20\text{Nm/kg}$ 或 $\geq 60\text{Nm/L}$ ，减速轮毂电机本体功率密度 $\geq 5.0\text{kW/kg}$ ；轮毂电机总成系统最高效率 $\geq 92\%$ ，系统 CLTC 工况综合使用效率 $\geq 80\%$ ；轮毂电机总成 1m 总噪声 $\leq 72\text{dB}$ ，防护等级不低于 IP68，冲击振动标准不低于传统轮毂指标，电磁兼容性能满足 Class 4 级及以上，形成可靠性与耐久性测试规范。轮毂电机总成产品实现装车运行。

2.3 混合动力专用发动机及高效机电耦合技术（共性关键技术）

研究内容：研究结构优化、高压喷射、高压压缩比、高效燃烧、电动气门、低摩擦和低噪声等混合动力发动机技术，开发出热效率高、排放好的混合动力专用发动机；研究新型构型、一体化机电集成、高效传动、高效热管理、动态控制和低噪声等机电耦合技术，开发出高效率、高集成、低成本的机电耦合变速箱。

研究结构集成优化、动态协同控制、高压安全管理、测试验证等混动总成技术，实现总成高效和高可靠性。搭载专用动力电池，通过整车高效优化控制实现整车级行业领先动力和能耗指标。

考核指标：专用发动机热效率 $\geq 44\%$ ，发动机排放满足

国六 b+RDE; 机电耦合系统机械传动效率 $\geq 95\%$, 中国工况 CLTC 下, 发动机高效区占比 $\geq 65\%$ (高效区定义: 最高热效率下浮 5 个百分点), 机电耦合系统综合效率 $\geq 85\%$; 产品可靠性及寿命满足整车要求, 实现装车运行。所搭载的整车 0~100km/h 加速时间 $\leq 7s$, A 级车在电量维持模式下油耗 $\leq 3.8L/100km$ 。混合动力专用高效发动机在额定功率下, 1 米噪声总声压级小于等于 90dB(A); 机电耦合系统在其基速点 (扭矩转折点), 1 米噪声总声压级小于等于 78dB(A)。

3. 智能驾驶

3.1 多域电子电气信息架构 (EEI) 技术 (基础研究)

研究内容: 构建基于服务的车路云网一体化集中式电子电气信息架构, 研究高内聚、低耦合架构技术, 探索车辆终端、边缘节点和云平台算力分配技术和通用应用开发架构, 形成域内、域间、车云标准接口, 实现软件模块复用以及整车软件管理; 研究 C-V2X 和车载网络融合的新型架构底层软件设计关键技术, 研究车载以太网和时间敏感网络等通信技术, 设计高带宽、低时延、高可靠的软件信息系统构架, 构建数据远程分析、诊断、调校与升级一体化技术平台; 研究电子电气架构安全冗余技术, 基于多维度安全设计方法, 构建故障检测、主动重构控制及可靠高效的多层纵深防御体系; 研究电子电气架构评估与实时性仿真分析技术, 建立多层次、一体化电子电气架构测试验证体系, 搭建车路云网一体化集中式电子电气信息架构测试平台; 研究电子电气信息架构集成应用, 实现技术应用与示范。

考核指标：架构支持车路云一体化协同的高级别自动驾驶系统，可实现软硬件独立和域间协同计算，架构支持算力集中的弹性中央计算平台和分布区域管理控制器实现整车软件定义功能开发，支持标准化软硬件接口 ≥ 400 个，标准接口支持2种以上的操作系统。电子电气架构一体化技术平台支持C-V2X信息交互，全车相关软件升级时间 ≤ 20 分钟，车载网络通讯速率可达10Gbit/s，时间敏感业务流转发时延小于50微秒，时间同步精度小于20纳秒。具有高可靠的冗余防失效机制，形成架构冗余设计准则和预期功能安全的解决方案。满足复杂电磁环境下的电磁安全要求，通过GB/T18387和GB34660标准测试。建立信息安全纵深防御设计准则和防护策略。形成整车电子电气架构仿真、评估和测试验证评价体系。在2家以上整车企业获得应用，完成相关技术标准或草案3项。

3.2 学习型自动驾驶系统关键技术（共性关键技术）

研究内容：研究人车路广义系统的多尺度场景理解技术，开发交通参与者的长时域行为预测系统；自动驾驶感知-决策-控制功能在线进化学习技术，研发模型与数据联合驱动的高效迭代求解算法，开发通用的建模、优化与分析软件；研究自动驾驶系统的高实时车载计算装置，包括低功耗异构计算架构、分布式高效任务管理、策略模型压缩/编译/部署等关键技术；研制多维驾驶性能分析系统与训练平台，包括边缘场景的自然驾驶数据库、以安全性为核心的驾驶性能评估模型、支持虚拟交通场景的半实物在环训练等；开发自动驾驶

系统学习功能集成与测试验证技术，包括符合车规级标准的开发方法及测试流程，功能优化、故障诊断、远程监控、人机交互等辅助模块，以及封闭测试场和开放示范道路的试验。

考核指标：典型交通参与者行为预测时域不少于 5s，长时域轨迹预测误差 $\leq 0.5\text{m}$ （横向）和 $\leq 2\text{m}$ （纵向）；支持 L3 级以上自动驾驶功能的自我进化训练，涵盖典型道路场景 ≥ 5 类和交通参与者 ≥ 4 类，在线学习系统的更新周期 $\leq 30\text{min}$ ；自动驾驶控制器算力 $\geq 2\text{Tops/W}$ ，主要功能模块平均延迟 $< 150\text{ms}$ ；边缘场景的自然驾驶样本片段 ≥ 1 万个，边缘场景类型 ≥ 80 类，自动驾驶性能评估模型的准确性 $\geq 90\%$ ；训练平台支持 ≥ 100 个交通节点虚拟交通场景，不少于 5 辆自动驾驶车辆并行接入训练。

3.3 智能汽车预期功能安全技术（共性关键技术）

研究内容：研究智能汽车预期功能安全认知技术，包括结合系统开发“V”字流程的正向危害分析、风险辨识以及机器学习算法不确定性及可解释性研究，构建预期功能安全量化评估模型；研究预期功能安全实时防护技术，构建预期功能安全实时监测与防护系统；研究降低预期功能安全风险的机器学习成长系统关键技术，包括面向自动驾驶机器学习成长平台的数据系统以及面向大数据的预期功能安全高性能云计算技术；研究人机交互的预期功能安全关键技术，包括车内外人机交互的预期功能安全防护技术及其功能模拟技术；研究预期功能安全场景库建设及测试评价技术，包括场景库测评优先子集和覆盖梯度研究、搭建预期功能安全仿真

测试模型，研究预期功能安全量化与测试评价技术，建立预期功能安全试验验证规范及标准。

考核目标：开发预期功能安全实时防护系统一套，实现预期功能安全的实时保障，并在不少于 20 个边缘场景下进行技术验证；搭建面向大数据的数字孪生高性能云计算平台 1 套；开发自动驾驶系统预期功能安全分析、仿真测评和管理工具软件 1 套；开发有条件自动驾驶及以上级别的智能网联汽车预期功能安全测试案例库 1 套，测试用例 ≥ 300 条；搭建预期功能安全实车测试平台 1 个；完成 ≥ 100 万公里实车道路数据采集，构建预期功能安全场景 ≥ 1000 个；完成预期功能安全量化开发及测试评价体系标准或草案 1 项。

4. 车网融合

4.1 智能汽车信息物理系统（CPS）技术（基础研究）

研究内容：面向车路云网的智能汽车信息物理系统通信与系统动力学融合构型建模技术，研究异构可组合模型形式化表达和模块化开发技术，建立系统设计模型库；研究智能汽车和智能交通系统高效协同的体系架构框架构建技术，突破智能汽车信息物理系统架构设计和构型优化关键技术，建立系统需求、功能、逻辑和物理架构；研究智能汽车信息物理系统并发组件设计技术，研发可溯源连续传递数据库，建立系统云协作总体设计软件工具；研究实验系统评估和验证技术，研发智能汽车信息物理系统在环半实物试验装置及测试案例集；研究智能汽车信息物理系统应用实现技术，研究建立智能汽车与智能交通系统协同的示范平台。

考核指标：系统设计模型库包含不少于 20 套系统通信和动力学模型集，容纳不少于 500 个系统模型，准确性 $\geq 90\%$ ；体系架构框架的设计分析维度 ≥ 7 个；系统需求定义 ≥ 2000 项，系统功能、逻辑和物理架构要素不少于 4500 个；系统云协作总体设计软件工具原型，可实现不少于 50 个用户端的数据库并发访问修改和唯一数据版本溯源；系统在环半实物试验装置包含不少于 3000 项测试用例；智能汽车信息物理系统示范平台至少支持 40 平方公里示范区域，不少于 200 公里的智慧城市道路里程、150 个智慧路侧设施、300 辆智能车辆的协同运行；完成相关技术标准或草案不少于 5 项，完成系统工程应用手册 1 套。

4.2 高精度自动驾驶动态地图与北斗卫星融合定位技术 (共性关键技术)

研究内容：研究支持自动驾驶的高精度动态地图模型与架构，研究面向中国道路特点、支持增量更新与扩展的地图数据模型，建立动静态、变分辨率地图数据的表达与存储机制；研究面向量产车众包数据的地图在线更新技术，研究地图数据实时加密与偏转技术；研究基于地图感知容器的网联汽车协同感知技术，建立车-路-云网联信息的多源融合机制；研究车规级北斗定位芯片与车载多源定位终端技术，构建基于北斗及其增强系统的车载定位、导航、授时一体化系统，研究融合视觉、惯导与地图的智能全息组合主动定位技术；研究自动驾驶地图与定位系统的车载软硬件集成技术。

考核指标：地图模型支持动静态多层数据调用，包括自

自动驾驶感知与决策的应用接口协议，地图覆盖公里数 ≥ 1 万公里；高精度地图每100米相对误差 ≤ 15 厘米，基于专业采集车地图更新准确率 $\geq 99\%$ ，基于众包数据地图更新准确率 $\geq 90\%$ ；超视距无盲区感知检测准确率 $\geq 90\%$ ，动态信息传输延迟 ≤ 1 秒；常规条件下高精度定位系统误差 ≤ 10 厘米，卫星受干扰条件下定位系统误差 ≤ 20 厘米；支持具备车路协同感知功能的高精度地图示范区域 ≥ 2 个，完成相关技术标准或草案 ≥ 5 项。

4.3 自动驾驶仿真及数字孪生测试评价工具链（共性关键技术）

研究内容：“人-车-路-环”耦合的高保真建模仿真技术，研究高精度传感器、动力学、环境建模技术和强耦合机制，研发支撑L3及以上自动驾驶实时仿真软件；融合自动驾驶场景及交通流特征的云端仿真技术，研究包含中国自动驾驶事故场景特性的宏微观一体化交通流建模与加速测试技术，开发场景批量生成与高并发大规模云计算测试平台；车-云-场协同的自动驾驶在线加速测试评估技术，研究基于交通流的驾驶员行为、自动驾驶车辆行为的云端协同与场地孪生连续测评技术；多车协同的整车交通在环数字孪生技术，研制高灵敏的驱动、制动、转向一体化整车级系统平台，研究“人-车-路-环”实时模拟与虚实融合交互集成测试技术；自动驾驶测试评价平台及工具链，研究驾驶智能性评级、缺陷自动识别与安全性能认证技术，构建标准化的工具软件及硬件平台。

考核指标：高精度自动驾驶仿真软件的极限工况动力学

模拟精度 $\geq 90\%$ ；开放道路自动驾驶事故场景案例 ≥ 1000 例；云控平台数据规模支持 PB 级，仿真任务执行成功率 $\geq 99.9\%$ ，达到 10000 个/分钟用例生成速率及 10000 个/小时用例测试速率；数字孪生测试系统支持车速 150km/h，最大制动强度 10m/s^2 ，最大转向角 40° ；数字孪生支持虚、实传感器信号叠加；工具链支持 L3 级以上自动驾驶全流程测试，完成相关技术标准或草案不少于 2 项，服务自动驾驶车型不少于 20 个。

5. 支撑技术

5.1 汽车电控单元关键工具链开发（共性关键技术）

研究内容：研发汽车电控单元模块级软件建模工具，实现基于模型的软件设计功能；研发汽车电控单元软件测试验证工具，实现软件测试验证的流程标准化、接口统一化、测试自动化；研发汽车电控单元软硬件集成测试与标定工具，实现电控软硬件功性能的在线优化；研发车辆通讯总线仿真与测试工具，实现对车辆通讯总线的功能测试和性能优化；开发基于云技术的汽车电控单元设计仿真平台与模型库，实现自主工具链的云端并行计算技术。

考核指标：汽车电控单元软件开发及验证的关键工具链能够满足 V 型开发流程，研制覆盖软件建模、软硬件测试、通讯总线仿真与测试等环节的关键工具不少于 4 种；汽车电控单元模块级软件建模工具能够支持系统图形化建模、连续与离散仿真、状态机建模等不少于 3 项的基本功能；汽车电控单元软件测试验证工具支持图形化测试用例搭建、支持自

定义测试用例库、测试用例库及测试计划统一管理不少于 3 项基本功能；汽车电控单元软硬件集成测试与标定工具能够支持不少于 2 种类型标定协议，支持用户可定制的图形标定界面，支持标定数据的记录以及刷写等不少于 3 项基本功能；车辆通讯总线仿真与测试工具支持总线监测分析、总线激励、诊断服务等不少于 3 项基本功能；自主开发工具的云上服务平台实现云端用户登录不少于 1000 人次/12 个月，工具链包含的云端模型库中有效模型数量不少于 50 个。

5.2 关键车规级芯片的测试技术和评价体系研究（共性关键技术）

研究内容：研究车规控制、通讯、计算、安全、存储芯片在车载使用要求下的可靠性、电磁兼容性测试技术，设计开发基于 FPGA 半实物平台和芯片实物平台的车规芯片功能安全测试用例库及测试技术；针对智能驾驶使用要求，研究车规计算芯片的算力、能耗测试技术；针对网联驾驶使用要求，研究车规信息安全芯片基于国密算法安全保证能力的信息安全测试技术；搭建车规车规控制、通讯、计算、安全、存储芯片测试平台，建立其在车载使用要求下的评价方法和评价体系。

考核指标：搭建支持多样本（ ≥ 20 个）同步试验、试验温度范围 $-40^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 、湿度相对湿度 $>65\%$ 、压力 $\geq 15\text{psig}$ （磅/平方英寸）的环境应力试验系统，以及可施加电源（电压范围 $0\text{-}20\text{V}$ 且分辨率 10mV ）偏置的寿命试验系统；搭建 EMC 测试环境，支持传导干扰（ $20\text{Hz}\text{-}108\text{MHz}$ ）、辐射干扰

(20Hz-40GHz)、HBM_ESD(10kV)、电源间断跌落实验(时间 $\leq 1\text{ms}$);搭建支持1024数字通道资源,5G通讯速率,激励电压范围-0.5~+1.5V且分辨率为 $10\mu\text{V}$ 的ATE测试系统;开发车规计算芯片测试系统,支持GPU/AI等多种架构车规计算芯片在不同系统配置下(内核可配置、主频测试精度最小100MHz)的算力测试(范围覆盖5~20TFlops、5~300Tops)及能耗测试(最高精度0.1W);设计开发支持车规芯片半实物和实物芯片的功能安全测试系统,测试范围覆盖车规计算芯片的总线、存储、DDR、时钟、IO、中断等硬件模块及底层软件,完成1~2款芯片功能安全测试用例开发至少1000条;开发车规信息安全芯片国密算法(SM1~SM4)检测系统,支持被测芯片 ≥ 5000 次/秒签名验签测试,开发支持置信度(α 值0.02~0.05)任意定义且不少于4个真随机源任意开关的随机数据采集及随机性水平的测试平台,开发信息安全测试用例(包含安全攻击用例)至少100条;在车规芯片测试方面形成5项以上标准提案。

5.3 车载储能系统安全评估技术与装备(共性关键技术)

研究内容:研究多场景全工况多因素耦合下电池系统安全性损伤机理、演变规律及评价技术,研究电池系统热失控热扩散评价技术,研究电池系统失效致灾危害评估技术,研究电池系统使用寿命与安全耦合机制与规律,建立动力电池多维度安全性评价体系和标准;研究动力电池系统高频失效行为的孕育演化机制和复现评估技术,研究车端感知、线下检测、云端数据协同的在役动力电池系统安全性风险评估技

术；开发智能无损检测装备及软件。

研究多场景多因素耦合下车载氢系统失效机理、失效模式及定量化安全评估技术；研究车载氢系统失效危害评估技术，建立车载氢系统多维度安全性评价体系；研究氢气泄露可视化检测技术，研究车载氢系统微量氢泄漏检测技术；研究车载氢系统安全风险在线监测方法。

考核指标：建立动力电池多维度安全性评价体系和装备；开发在役动力电池系统安全性智能无损检测系统不少于 2 套，测试准确度不低于 90%；搭建车载氢系统安全性定量化评价体系和在线监测系统，在商用车和乘用车上进行应用验证，在线监测系统安全响应时间小于 1 秒；车载氢系统微量泄漏检测精度高于 50ppm；车载氢系统严重泄漏预判准确率 > 90%；形成 5 项以上动力电池系统和车载氢系统安全性评价相关标准提案。

5.4 高效协同充换电关键技术及装备（共性关键技术）

研究内容：研究车-桩（站）-云多层级充电物理信息网体系架构，大数据驱动的安全高效充电管理与控制技术，研发车桩（站）互联互通实时数据交互平台；研究基于新能源汽车运行应用大数据的充电负荷时空多维度预测方法，充换电设施网点布局与站点构型规划方法；研究车-桩-云协同信息服务的运营管理与决策理论方法，用户行为识别与充电设施状态感知协同的车群充电规划方法与引导技术；研究快换站多型号动力电池包融合存储、识别和充电技术，快换电池包标准化技术，多车型、多型号电池包识别和匹配技术，研

发可多车型共用动力电池快换设备；研究多功率等级兼容的无线双向充放电技术，研发大功率、高效率、智能适配的双向无线充放电装备。

考核指标：建成车桩数据交互平台，实现跨平台车桩数据互联互通，跨平台的数据互通与调用平均响应时间 $\leq 1s$ ，高并发服务能力 ≥ 200 万个，接入充电桩 ≥ 100 万个，车 ≥ 300 万台；构建城市公共充电场站建设规划模型和技术规范，应用覆盖全国省份 ≥ 20 个；充电桩利用率提高 $\geq 30\%$ ，车辆充电等待时间降低 $\geq 30\%$ ；快换电池系统兼容电池包类型 ≥ 3 种，可更换车型 ≥ 3 个，电池更换时间 $\leq 90s$ ；无线充放电系统双向功率 $\geq 30kW$ ，传输距离 $\geq 20cm$ ，输出电压范围DC250-900V，10%到100%负载范围内系统效率 $\geq 92\%$ ，最高效率 $\geq 94\%$ ，满足多车型互操作性，实现3个以上车型搭载验证。

6. 整车平台

6.1 纯电动客车/乘用车高效高环境适应动力平台技术 (共性关键技术)

研究内容：研究极寒环境整车低能耗自保温技术，高温高湿环境下动力平台高效冷却技术、高绝缘和高安全防护技术；研究多应用场景的电驱动系统、动力电池系统内部温度预测方法、温控回路智能高效控制技术；研究电驱动、动力电池以及乘员舱热管理系统间的能耗耦合机理，研究高效智能化热管理控制技术，研发多热源协同智能高效一体化热管理系统；研究多阀门多通道多冷却回路一体化、压缩机低温

可靠性、可变制冷剂充注量等空调技术，研发低温高效热泵空调系统；研究基于功能域的动力平台高效集中式控制技术、基于大数据的整车能量管理优化标定技术，研发基于自主核心芯片的多合一高压集成控制器和网联化整车综合控制系统，研发高环境适应动力系统平台和专用化底盘。

考核指标：12米纯电动客车：整车能耗 $\leq 52\text{kWh}/100\text{km}$ （CHTC工况）；全气候（环境温度范围覆盖 $-35^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ ）续驶里程 $\geq 300\text{km}$ （CHTC工况）； -35°C 环境下，车辆续驶里程不低于常温续驶里程的85%，车辆冷启动时间 $\leq 8\text{min}$ ，空调制热功率 $\geq 14\text{kW}$ ， $\text{COP} \geq 1.3$ 。 40°C 环境下，空调制冷功率 $\geq 22\text{kW}$ ， $\text{COP} \geq 1.7$ ；研制车型 ≥ 2 个，30分钟最高车速 $\geq 100\text{km/h}$ ，0-50km/h加速时间 $\leq 15\text{s}$ ，最大爬坡度 $\geq 25\%$ ，实现百辆级验证应用。

B级乘用车：整车能耗 $\leq 14\text{kWh}/100\text{km}$ （CLTC工况）；全气候（环境温度范围覆盖 $-35^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ ）续驶里程 $\geq 500\text{km}$ （CLTC工况）； -35°C 环境下车辆续驶里程不低于常温续驶里程的85%，车辆冷启动时间 $\leq 5\text{min}$ ，空调制热功率 $\geq 4\text{kW}$ ， $\text{COP} \geq 1.3$ 。 40°C 环境温度下，空调制冷功率 $\geq 7.5\text{kW}$ ， $\text{COP} \geq 1.7$ ；研制车型 ≥ 2 个，最高车速 $\geq 180\text{km/h}$ ；0-100km/h加速时间 $\leq 4\text{s}$ ，满载最大爬坡度 $\geq 30\%$ ；实现千辆级验证应用。

6.2 智能电动重载车辆平台关键技术及应用(示范应用)

研究内容：开发智能电驱动重载车辆一体化平台架构，研究重载车辆的整车物理结构与电驱动系统、智能驾驶系统间的耦合机理与设计方法；开发面向恶劣环境的重载车辆智

能驾驶系统，研究多尘、颠簸等场景下大盲区多源传感器融合感知技术，研究强振动、重载荷等条件下车辆故障诊断及导向安全智能决策技术，研究连续大长坡、大幅变载荷等工况下车辆纵横向协调控制技术；面向复杂工况的重载车辆大功率智能电驱动系统开发，构建面向重载车辆的主辅一体式永磁电机驱动系统拓扑结构，研究多态湿滑大坡道下自适应力矩分配与预测型智能控制技术；开发面向多场景作业的智能电驱动重载车辆仿真验证平台，研究智能电驱动重载车辆的硬件在环仿真与编组作业模拟技术；开展露天矿山等典型场景下智能电驱动重载车辆的无人化协同作业示范应用。

考核指标：开发智能电驱动重载车辆的整车平台原理样机 1 套；中重度扬尘条件下，小尺寸（0.5m*0.5m*0.5m）障碍物检测距离 $\geq 100\text{m}$ ，距离检测误差 $\leq 0.3\text{m}$ ，重载车辆在 200 吨载重条件下停靠控制误差 $\leq 0.5\text{m}$ ，可实现 10%坡道的坡停坡起；开发自主可控的电驱动系统，与国际同类产品相比，综合能效提升 10%，粘着利用率提升 15%，在 1km/h 车速下仍可有效电制动；开发智能电驱动重载车辆仿真验证平台 1 套；在露天矿区等典型场景下开展不少于 30 台、200 吨级载重车辆的无人化协同作业示范运行，并稳定运行 1 年以上，与国际同类产品相比，平均能耗降低 15%；形成相关技术标准或草案 1 项。

“交通基础设施”重点专项

2021 年度项目申报指南建议

（征求意见稿）

国家重点研发计划启动实施“交通基础设施”重点专项。本重点专项总体目标是：在交通基础设施设计、建造、管理、运营、养护一体化和多模态化等技术取得全面突破，攻克安全、减排、环境友好、服役功能及周期寿命等关键技术瓶颈，形成完备自主的技术体系。全面支撑“一带一路”倡议、“制造强国”“交通强国”战略实施和“碳中和”愿景实现。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南拟在交通基础设施绿色化、交通基础设施智能化、交通基础设施韧性化、交通基础设施长寿命、交通与能源融合 5 个技术方向，启动 14 个指南任务中的 17 个子任务。

1. 交通基础设施绿色化

1.1 生态敏感地区交通基础设施环境低影响开发（共性关键技术）

研究内容：研究交通基础设施与生态环境协调机制、生态环境影响跟踪监测及立体巡查技术；研究陆路交通基础设施自然融合设计、生态建造和无害化穿（跨）越技术；研究陆路交通走廊生态环境影响与效益提升评估技术，建立生态

环境影响贡献率评估方法与标准体系；构建基于物质循环、生物群落演替平衡的全生态、全环境要素生态治理与恢复技术体系，研究生态敏感地区陆路交通廊道受损生态系统修复与生物群落结构重建技术。

考核指标：形成生态敏感地区交通基础设施环境低影响开发技术方法；研发陆路交通基础设施环境影响空天地立体评估与监测系统，监测精度不低于 90%，生态环境管理效率提升 20%以上；在不少于 2 处的典型生态敏感地区开展工程技术验证，总长度不低于 300 公里，交通基础设施沿途生态环境修复率不低于 80%，生物群落恢复率不低于 95%；形成我国陆路交通基础设施环境低影响核心技术标准体系框架，编制技术标准规范（送审稿）2 项，申请发明专利等自主知识产权不少于 5 项。

1.2 绿色港口建设与生态安全保障技术(共性关键技术)

研究内容：面向“一带一路”重要节点港口，研发绿色港口环境智能监测与控制技术，开发港口典型污染物实时动态监测及全流程智能化控制系统；研究缺水地区港口雨污水、压载水等非常规水源综合利用技术，港口水资源高效循环利用保障技术体系；研发港口水环境与生态动力学精细化模拟技术，海陆交错敏感带港口建设与栖息地协同保护技术，港口海域敏感生物智能识别与损害防护技术；研发高度契合典型生物栖息需求的生态友好型港口防护结构和码头结构。

考核指标：建成港口环境监测与智能控制系统，典型污染物控制率不低于 85%；形成港口水资源高效循环利用保障

技术体系，港口雨污水、压载水等非常规水源利用率不低于90%；建成港口水环境与生态动力学精细化模拟系统、港口海域典型敏感生物智能识别系统，覆盖鱼类等典型敏感生物多行为过程模拟，平均精确度（mAP）达到85%以上；形成不少于2种透水型生态码头结构，生态友好型港口防护结构适用的谱峰周期大于16s，稳定系数KD值达到24，生态防护结构临近水域典型生物种群数量提高20%以上；编制绿色港口建设相关技术指南2部，申请国际发明专利5项，在“一带一路”重要节点港口开展应用验证。

2. 交通基础设施智能化

2.1 交通基础设施数字化软件研发（共性关键技术）

研究内容：研究交通基础设施数字化工业软件体系架构；研究共性/异性设施单元集与逻辑功能架构，多源异构数据的空间数据融合技术和空间单元统一编码技术；研究交通基础设施数字化模型，研发全生命周期多源异构数据实时接入、处理和分析技术；研究我国交通基础设施数字化核心技术标准体系；开发交通基础设施数字化基础性软件。

考核指标：开发具有全生命周期、数字信息交互和多模式运输基础设施互通能力的交通基础设施数字化工业软件，数字建模、信息索引、大场景真实渲染、多模式交互等数字化模型精度 $\geq 95\%$ ，影像、深度和点云等多场景多源数据快速分割错误率小于2.5%；支持亿级以上智能物联点位流数据接入、存储和分析计算，处理延迟时间小于5秒；具备各类型交通基础设施数据计算分析接口扩展功能；形成我国交通

基础设施数字化核心技术标准体系框架，编制相关技术标准（送审稿）不少于 1 项，申请发明专利等自主知识产权不少于 10 项。

2.2 陆路交通基础设施智能化设计共性关键技术（共性关键技术）

研究内容：面向陆路交通基础设施智能设计，研究全天候、高精度的基础设施空天地定位技术，基于人工智能和空天地的基础设施空间地理与地质信息快速获取、多源数据融合及三维数字化表达技术；研究基于数据、智能和星基位置服务技术的交通基础设施勘察、测绘、选线等关键技术；研究陆路交通基础设施关键结构数字化建模方法，以及从设计到建造的交付关键技术及标准。

考核指标：形成基于人工智能和空天地一体化的陆路交通基础设施勘察、测绘、选线、设计技术体系；实现空间定位精度较原有技术提高 20%以上，数据获取效率在现有基础上提高 30%以上；建立陆路交通基础设施主要构造物数字化模型库，数字化建模准确率大于 90%，勘察、测绘、选线、设计全流程效率提高 10%以上；编制陆路交通基础设施智能化、数字化设计标准（送审稿）1 项，申请发明专利等自主知识产权 5 项以上。

2.3 高海拔极端复杂环境下机场智能化运行技术（共性关键技术）

研究内容：研究高海拔极端环境下机场低空风切变、低云低能见度、雷暴等危险天气的预警和短时临近天气预报技

术；研究高海拔机场机载飞行安全智能预警技术；研发低温低压条件下除冰防冰智能评估与决策技术；研发高海拔机场虚实结合的数字化智能管制技术、机场通信导航监视设施机动式装备与智能监控技术。

考核指标：实现低空风切变、低云低能见度、雷暴等 3 类以上危险天气的预警预报服务，危险天气预警准确率不低于 85%，更新间隔不高于 20 分钟，短时临近预报准确率不低于 80%；研制符合国际民航组织 DOC 9718 标准的地空协同机载飞行安全智能预警系统，飞行冲突预警时间不小于 4 分钟；研制除冰防冰液空气动力学评估系统、除防冰智能决策系统，防冰时间修正频率不低于 2 分钟/次；研制符合国际民航组织 DOC 9896、欧洲民航电子设备组织 ED-240A 标准的可视远程简易塔台、机动式应急指挥舱；在海拔高度 2500 米以上、旅客吞吐量 100 万人次以上的高高原机场进行综合应用验证；编制行业技术标准（送审稿）1 项；申请发明专利等自主知识产权 15 项。

3. 交通基础设施韧性化

3.1 交通基础设施韧性评估与风险防控基础理论与方法 (基础研究)

研究内容：研究交通基础设施工程韧性提升方法，研究交通基础设施复杂网络系统建模、智能仿真与系统韧性优化技术；研究局部设施失效对综合交通系统服务能力影响和系统失效机制，交通设施系统韧性分级标准和综合评估技术；研究自然灾害和突发事件下交通系统功能损失、交通迟滞精

准评估技术、交通系统功能重构和灾后恢复决策技术；研究交通基础设施韧性风险防控系统理论。

考核指标：形成交通基础设施韧性评估与风险防控理论方法，建立覆盖道路、铁路、民航、码头和航道的基础设施系统韧性的评估指标体系；形成交通基础设施系统连通可靠度、重要度和关联度的快速建模技术，模型精度不低于 90%；研发交通基础设施韧性评估和风险防控系统，具备不小于 1000 公里交通网的分析能力，重大自然灾害影响分析准确率不低于 80%；编制相关技术标准（送审稿）不低于 2 项，申请发明专利等自主知识产权不少于 8 项。

3.2 陆路交通基础设施韧性提升共性关键技术（共性关键技术）

研究内容：研究自然灾害或突发事件作用下的陆路交通基础设施结构动力响应特性、损伤机理与失效模式；研发陆路交通基础设施全要素结构仿真技术与系统分析平台；研究融合北斗系统的“空-天-地”一体化智能监控及系统安全预警关键技术；研发陆路交通基础设施重点区段结构安全和抗灾韧性提升关键技术及装置，研制设施柔性运行与灾后快速恢复关键装备。

考核指标：形成陆路交通基础设施韧性提升关键技术体系架构；研发 3 种以上重点区段结构抗灾韧性提升关键装置；建立陆路交通基础设施全要素结构仿真与系统分析平台，仿真精度不低于 95%；建立高精度空天地一体化监控系统，重大自然灾害预警前置时间大于 48 小时，安全预警稳定性提

升 25%；开发设施安全性能智能检测技术装置不少于 2 种，灾后恢复应急保障装备不少于 2 台（套）；编制相关技术标准（送审稿）2 项，申报发明专利等自主知识产权不少于 10 项。

3.3 沿海水工建筑物韧性提升关键技术(共性关键技术)

研究内容：研究全球气候变化背景下强潮大浪时空分布规律，建立高分辨率的中国沿海海域时序海浪及长重现期要素数据库；研究超设计标准强浪条件下沿海防浪建筑物全时域脆性破坏机理及分析方法；研究强震作用下考虑地基液化弱化沿海水工建筑物结构动力灾变机理；研究沿海桩基结构海床冲刷演变及防护技术，研发沿海水工建筑物损害部位快速诊测装备；建立沿海水工建筑物整体性安全评价方法和韧性分级标准；研发提升沿海水工建筑物韧性的新材料和新结构。

考核指标：开发波浪-结构物-地基耦合模拟软件 1 套，开展模型波高不小于 3m 的极端工况实验验证，波浪力模拟误差小于 10%；建立考虑地基大变形的沿海水工建筑物抗震耦合动力分析方法；形成沿海水工建筑物损害快速诊测技术，水下及隐蔽部位损伤识别率达到 80%；提出 3 种以上基于混凝土胶结、摩擦力增大和新型减隔震技术的韧性增强技术，混凝土水下胶结体强度达到 50MPa 以上，重力式结构与地基摩擦系数增大至 1.0 以上，新结构震害关键部位峰值加速度降低 30%以上；形成沿海水工建筑物整体性安全评估技术、韧性评价标准及设计指南等 3 项，申请发明专利等自主知识

产权不少于 5 项；在典型港口和跨海工程开展应用验证。

3.4 海底隧道建造与韧性增强关键技术(共性关键技术)

研究内容：针对强侵蚀、多构造等复杂严酷海洋环境，研发钻爆法/机械法海底隧道建造高韧性、耐久性与智能感知型材料，开发隧道材料-结构-信息融合关键技术；揭示海底隧道断层、强风化槽等特殊不良地质段结构长期复杂荷载作用下劣化破坏机制，研究长寿命隧道结构增强设计方法；构建隧道运维人、机、流程、数据、实物结合的物理-信息互联感知系统，研发长距离、大断面海底隧道安全状态智慧感知与诊断技术；研发基于人-机-环境信息交互技术的海底隧道重大地质灾害预控技术，构建海底隧道灾害防控与决策云平台；研发适用于复杂海洋环境的隧道病害维护智能设备与快速修复方法。

考核指标：研发新型海底隧道建造材料 2~3 种，材料耐久性提高 $\geq 20\%$ ，结构韧性提高 $\geq 30\%$ ；研制海底隧道安全状态智慧识别设备 ≥ 1 套，感知关键数据种类 ≥ 3 种，识别准确率 $\geq 90\%$ ；研制海底隧道病害维护智能设备 ≥ 1 套，作业效率提升 $\geq 40\%$ ；研发海底隧道结构内外信息无人化巡检设备 ≥ 1 套，无线传输距离 $\geq 1\text{km}$ ，结构裂缝、渗漏水等病害识别分辨率达亚毫米级，结构病害诊断与灾变预测预警平台响应延迟时间 $< 30\text{s}$ ；编制海底隧道特殊不良地质段长寿命结构增强设计标准、运维技术标准（送审稿）2项，海底隧道建造中重大地质灾害预控技术指南 1 项，申请发明专利 15 项；开展海底隧道工程应用验证不少于 2 处。

4. 交通基础设施长寿命

4.1 重大交通基础设施长寿命设计理论与方法（基础研究）

研究内容：针对我国重大交通基础设施设计使用年限短问题，揭示复杂环境、多场耦合作用下的材料、构件、结构的性能演变规律和演变机理，研制性能追踪模型；研究面向新建基础设施的长寿命设计理论，构建基于性能目标的全寿命、全概率设计方法体系；研究材料-结构-功能协同的长寿命设计方法。

考核指标：构建适用于区域性环境差异的重大交通基础设施荷载与抗力演变概率模型，模型精度不低于 90%；形成我国重大交通基础设施长寿命设计理论与方法，提升设计使用年限不少于 50%，重载道面设计寿命达到 30 年，桥梁隧道设计寿命达到 200 年，港口码头设计寿命达到 100 年；编制相关技术标准（送审稿）3 项，申请发明专利等自主知识产权不少于 8 项。

4.2 陆路交通基础设施耐久性提升关键技术（共性关键技术）

研究内容：研究陆路交通基础设施运营效能演变和可靠性保障机理，结构长寿命定量测度和定性分析评价指标，构建可靠性、耐久性保障体系框架；研发严酷环境下高性能混凝土桥隧构造物、高性能钢轨、高性能路面的延寿和修复技术，研发具有韧性的设施结构延寿及使用功能恢复新技术和新工艺；研究基于新材料的陆路交通基础设施一体化设计和

建造关键技术；研究陆路交通关键桥隧大型构造物服役能力荷载测试装备。

考核指标：构建陆路交通基础设施服役年限延长和性能提升技术体系；建立重大基础设施状态演变模型，仿真精度不低于 90%；建立基于新材料的陆路交通基础设施关键设计参数，形成寿命不低于 200 年的陆路交通桥隧构造物混凝土制备成套技术；开发强度 690MPa 及以上且具备良好低温韧性的铁路设施高强钢及配套制造工艺，寿命提升 50%以上；开发智能检测设备及平台，检测工效提升不低于 20%；编制技术标准（送审稿）3 项，申请发明专利等自主知识产权不少于 8 项。

4.3 港口枢纽泥沙淤积机理及其防治关键技术（共性关键技术）

研究内容：研究不同海域重大港口码头后方及下方泥沙回淤演变机理、预测理论与评估方法；研究水下淤积岸坡变形失稳灾变机制，及其对港口水工结构物各类桩基服役性能影响；研发港口码头后方及下方淤泥强度原位触探技术，研发可移动式码头后方导流技术和智能清淤作业技术；研发港口码头回淤预警、清淤效果实时监测与定量评估技术。

考核指标：建立重大港口码头后方及下方泥沙淤积预测方法，预测与实测回淤量偏差不超过 20%；形成泥沙淤积实时监测预警技术，研制原位触探装备及回淤预警系统各 1 套，触探测量精度不低于 0.2kpa，淤积厚度监测分辨率不超过 1cm；研制可移动式码头后方导流装备 1 套，导流冲淤流速

提高 50%；提出适用于码头后方及下方的灵巧型智能清淤作业技术，研制作业装备 1 套，清淤效率不低于 150 m³/h；编制码头后方及下方清淤技术标准（送审稿）2 项，申请发明专利等自主知识产权不少于 5 项；在典型重大港口码头开展应用验证。

4.4 道面设施寿命增强与性能提升技术(共性关键技术)

研究内容：针对既有各类道面设施更新升级的重大技术需求，研究复杂条件下道面设施结构和功能的寿命演化机理与行为理论；研究不同类型道面设施结构寿命-功能寿命协同增强技术；研究结构-材料相统一的道面设施性能提升技术；研究不同应用场景下道面设施抗冲击、抗磨耗等安全性能提升与保持技术，以及低干扰条件下的道面装配式更新技术。

考核指标：形成长寿命复合道面、装配式道面等的道面结构-功能行为理论、结构寿命-功能寿命协同增强方法；既有机场道面设施经更新升级的结构设计使用寿命延长至 50 年，抗着陆冲击、抗磨耗等功能性能保持不少于 10 年，抗飞机除冰剂冻融损伤能力提升不少于 50%；道路铺面寿命延长至 30 年；装配式道面的单板装配时间小于 1 小时；形成相关技术标准（送审稿）不少于 3 项，申请发明专利等自主知识产权不少于 10 项；在大型机场、国（省）公路等不同场景进行应用验证。

5. 交通与能源融合

5.1 交通自洽能源系统基础设施规划与设计技术（基础

研究)

研究内容: 研究交通多态清洁能源的自洽系统构成及与交通智能化运行、绿色化运维之间的适配性; 研究差异化地理区域下多态能源供给潜力的评估与交通运输需求驱动的能源负荷预测技术; 研究交通能源自洽基础设施的运行模式与方案及效能提升技术; 研究交通需求驱动的自洽能源系统设计技术与系统关键特性的评估技术; 研发交通需求驱动的自洽能源系统规划与设计软件系统。

考核指标: 形成交通自洽能源系统规划设计理论与方法, 面向工程部署的交通能源系统基础设施规划和设计技术体系; 构建与环境相适应、与交通运输特性相匹配的具备多场景适配、架构优化、性能评估的可工程部署的交通自洽能源系统规划与设计软件系统, 系统覆盖公路、水路、铁路 3 交通方式、不少于 9 个交通自洽能源应用场景, 并支持不少于 3 类非碳基清洁能源、不少于 3 类储能的集成应用, 系统具备支持不少于 500 公里交通路网、不低于 100 个用能节点、不低于 50MW 清洁能源接入容量的交通自洽能源系统规划设计功能; 编制相关技术标准/设计规范(送审稿) 不少于 3 项, 申请发明专利等自主知识产权不少于 5 项。

5.2 公路交通自洽能源系统的多能变换与控制技术(共性关键技术)

研究内容: 研究保障公路交通运转运维的用能需求与环境低影响的系统构型与适用性; 研究支持电、热、氢等形态能源间的变换与控制技术; 研制具备多能变换功能的公路交

通自洽能源系统的高可用性关键装备；研究基于故障预测和健康管理的公路交通自洽能源变换装备全生命周期服役能力保持技术；研究适用于公路交通自洽及其运转运维装备在途补给的多能变换装备优化集成与综合效能评价以及场景适配的运行控制技术。

考核指标：形成公路交通自洽能源系统多能变换与控制技术架构；研制场景可调制、端口可配置、规模可扩展的高可用性多能变换关键装备，公路交通自洽能源变换装备平均功率密度在 $1.0\text{W}/\text{cm}^3$ 以上，平均无故障工作时间不低于 1000 小时，平均维修时间不超过 1 小时，装备可用性不低于 99.9%；装备可提供公路交通运转运维装备的在途补给能力，适用于冷热负荷、交/直流负荷、风电、太阳能发电、储电储热等多能转换场景，实现 5 种以上能源间的转换，装备供电规模不低于 3MW，交直流转换效率不低于 95%，综合能源利用效率不低于 90%。

5.3 轨道交通“网-源-储-车”协同供能技术（共性关键技术）

研究内容：研究与轨道交通场景相适配、网-源-储-车相协同的多源供电系统的体系架构；研究“网-源-储-车”协同的高效能与高弹性轨道交通能源自洽技术；研制适配于牵引轨道交通分布式可再生能源发电和储能接入的电力变换装备；研究多源多态的非牵引绿色能源自洽技术及其变换互联装备；研究牵引/非牵引轨道交通自洽能源系统的能源运行管控与高效利用技术；开展轨道交通“网-源-储-车”

协同供电系统工程示范验证。

考核指标：形成普适于我国轨道交通系统“网-源-储-车”协同供电的技术架构与系统解决方案集；建立“网-源-储-车”协同供电的牵引供电系统技术方法和“发-储-变-配”一体化多能互联功能的非牵引电力供配技术体系，完成关键装备研制，其中基于多端口电能路由器的贯通式同相供电装置容量不低于 20MVA，大功率风电/光伏中压直流变换器单机容量不低于 5MW、效率大于 97%，建立多源供电协同控制平台；在不少于 300 公里线路里程、3 个交通站点的两种应用场景（牵引供电和非牵引供电）开展工程验证；牵引供电场景新能源渗透率不低于 10%，可再生能源发电接入牵引变电所容量不低于 5MW，牵引变电所峰值负荷削减 10%以上，具备可保持不超过 4MW 的牵引负荷 15min 应急供电能力；非牵引配电场景可再生能源渗透率不低于 30%，具备非牵引重要负荷离网供电 2 小时能力，系统效率不低于 95%，供电可靠性不低于 99.99%。

5.4 水运港-船多能源融合技术及集成应用（示范应用）

研究内容：研究我国港区“风、光、储、氢”等多能源融合系统网络构架；研究不同负荷及特征各异能源的捕获、变换与控制技术；研发与港-船多能源融合系统相适应的氢气注-储-供系统和能量管理系统等关键装备；研究港-船多能源融合系统与港区负荷的匹配与优化控制技术；研究港-船多能源融合系统技术集成应用及效益评估。

考核指标：形成与自然禀赋相适应的港区“风、光、储、

氢”等多能源融合系统网络规划理论与设计技术；研制船-港多能源融合系统的关键装备，实现港-船多能源融合系统的集成应用，港区多能源融合系统具有3种及以上供能模式，总容量不小于2MW，可再生能源渗透率不低于30%，用电自洽率不低于20%，系统总效率不低于95%，稳态下电能质量THD小于2%，储氢系统质量储氢密度达到6%wt；能量管理系统能实现至少5个子系统的协同互动，监测节点数不小于200个。

“高性能计算”重点专项 2021 年度项目申报指南建议 (征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“高性能计算”重点专项。本重点专项总体目标是：围绕促进重大科学发现、促进传统产业转型升级、提高人民生活水平等各领域重大挑战性问题，持续推动高性能计算技术创新与应用，带动自主可控基础软硬件技术与产业的跨越式发展，为建设科技强国奠定坚实基础。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，拟在高性能计算机研发技术方向启动 1 个指南任务。

1. 高性能计算机研发

1.1 超大规模计算系统基础理论和方法研究

研究内容：针对超大规模计算系统（峰值计算性能 E 级以上），研究超导、量子、硅基光电子等新兴技术加速计算的理论和方法；缓解存储墙问题的新理论和方法；新型运算节点的构建方法和技术；面向传统数值模拟与新型智能计算的混合体系架构；可靠性方法和技术；新型计算节点互联方法和技术；新型高效并行编程、编译、调度方法和技术；多域（100Gbps 互联）协同的任务调度方法和技术；多域异构数据的处理框架。

考核指标：在峰值计算性能 E 级以上的超大规模计算系统场景下，围绕上述研究内容，形成从数据、节点、系统、多域协同的创新成果，建立可验证的系统，并开源模型和代码等。

“信息光子技术”重点专项 2021 年度 项目申报指南建议 (征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“信息光子技术”重点专项。本重点专项总体目标是：积极抢抓新型光通信、光计算与存储、光显示与交互等信息光子技术发展的机遇，重点研发相关核心芯片与器件，支撑通信网络、高性能计算、物联网等应用领域的快速发展，满足国家发展战略需求。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，拟围绕光通信器件及集成技术、光计算与存储技术、光显示与交互技术等 3 个技术方向，启动 25 个指南任务。

1. 光通信器件及集成技术

1.1 铌酸锂薄膜光子集成关键工艺及集成技术开发（工艺与共性技术类）

研究内容：针对当前欠缺薄膜铌酸锂光电子芯片加工工艺平台问题，建设开放共享的薄膜铌酸锂光电子加工工艺平台。建设薄膜铌酸锂光电器件工艺线，研究无源波导的传输和损耗问题，研制滤波、偏振、模式等各类无源器件，研制薄膜铌酸锂电光调制器件，进行一定规模的集成。开发光电

子芯片的耦合封装技术。支撑国家重点研发任务的实施，为我国关键科研院所和企业提供流片服务，为产业界和学术界提供开放共享的芯片加工平台。

考核指标：建设面向前沿研究的纳米级薄膜铌酸锂光电子芯片加工工艺平台，实现稳定的工艺流程，对社会开放共享。具体考核指标包括：（1）开发出薄膜铌酸锂波导的标准化制备方法，最高加工精度达到 40 nm。波导宽度误差小于 20 nm，刻蚀深度误差小于 20 nm。波导传输损耗小于 0.5dB/cm，工艺可重复性优于 90%。开发薄膜铌酸锂电调/热调波导器件的工艺，电调效率不低于 3V•cm，热调效率不低于 150mW/ π 。基于此波导研制 3dB 耦合器、波分复用器/解复用器、微环谐振器、偏振分束器、可调滤波器、光开关，建立工艺开发包（PDK）；（2）开发出薄膜铌酸锂 MZI 调制器的标准结构与工艺参数，研制出标准薄膜铌酸锂调制器芯片，调制器芯片带宽大于 70 GHz，半波电压小于 3V，器件性能波动幅度小于 10%；（3）实现薄膜铌酸锂光电子芯片的规模化集成，单片集成度不低于 20 个单元器件；（4）开发标准化的薄膜铌酸锂光电子芯片的耦合封装技术，采用标准单模光纤与芯片耦合时，单端耦合损耗小于 1.5 dB。实现薄膜铌酸锂集成芯片的射频封装技术标准化，射频接口带宽不低于 50 GHz。（5）建成纳米级薄膜铌酸锂光电子芯片加工工艺平台，实现稳定的工艺流程，对社会开放共享。申报发明专利 20 项以上，相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 5 项，平台外单位的用户数不少于 20 家，支撑 3 项以上

“信息光子技术”专项项目的研发，实现典型示范应用，为国内行业骨干企业和设计单位提供流片服务。

1.2 PLC 光子集成关键工艺及集成技术开发（工艺与共性技术类）

研究内容：针对我国 PLC 光子集成芯片工艺平台加工能力不足的问题，建设开放共享的 SiO₂ 基 PLC 光子集成加工工艺平台。建设和完善 SiO₂ 基 PLC 光子集成工艺线，研究掺杂 SiO₂ 无源波导的损耗和偏振等问题，研制功率分配、波分复用、热光调制、相干混频等各类无源器件；开发 SiO₂ 基 PLC 光子集成芯片的耦合封装及自动化测试技术。支撑国家重点研发任务的实施，为我国关键科研院所和企业提供流片服务，为产业界和学术界提供开放共享的芯片加工平台。实现我国 SiO₂ 基 PLC 核心光子芯片自主可控开发及产业化，服务我国光电子信息产业发展。

考核指标：1) 开发出掺杂 SiO₂ 波导的标准化制备方法，具备掺杂组分可调 SiO₂ 材料均匀生长、陡直刻蚀、低应力高温退火工艺，其中掺杂 SiO₂ 波导折射率差在 0.3%-2.5% 连续可调，折射率均匀性 ± 0.0006 ，厚度均匀性 $\pm 2\%$ ，芯区刻蚀陡直度 $90^\circ \pm 1^\circ$ ，波导最小传输损耗小于 0.01dB/cm，工艺可重复性优于 90%。基于掺杂 SiO₂ 波导研制加工无源和热调器件，包括 Y 分支结构及级联、波分复用器/解复用器、微环谐振器、热光可调衰减器；形成 Y 分支、AWG、MZI 标准工艺库；2) 开发标准化的 SiO₂ PLC 光子集成芯片的仿真设计软件、标准工艺 PDK、耦合封装技术，采用标准单模光纤

与芯片耦合时，单端耦合损耗小于 0.5 dB；3) 打通 PLC 光子集成芯片仿真设计、工艺制备、封测工艺，整体水平达到国际先进工艺平台加工能力。4) 支撑完成 5 项以上的国家级项目，申报工艺技术专利 15 项以上；5) 平台外单位的用户数不少于 30 家（以加工合同和加工费拨付凭证为准），其中包括国内骨干企业的流片。5) 建成面向前沿研究的亚微米级 SiO₂ 基 PLC 光子集成芯片加工工艺平台，具备中试及小批量生产工艺技术能力，实现稳定的工艺流程，对社会开放共享。申报专利 20 项以上，相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 5 项，平台外单位的用户数不少于 30 家，支撑 3 项以上“信息光子技术”专项项目的研发，实现典型示范应用，为国内行业骨干企业和设计单位提供流片服务。

1.3 光电芯片全流程联合仿真技术研发(工艺与共性技术类)

研究内容：聚焦光电芯片的全链条光电联合设计需求，研制覆盖工艺模拟、器件设计、链路分析、版图绘制的全流程设计软件；研究高效率全波仿真、高精度模式求解和分析、载流子输运仿真、热力学仿真等核心算法；结合国内工艺线建立光电集成器件紧凑模型、工艺参数抽取及校准模型、可靠性和良率分析模型、链路时域和频域分析模型；开发三维计算机辅助设计引擎、光电联合自动布线和规则检查引擎；建立从核心器件至功能芯片的全流程层次化仿真设计新架构，实现光电芯片仿真设计工具产品化。

考核指标：（1）三维时域全波仿真算法单节点峰值计算速度不低于 4000Mcells/s；器件紧凑模型与全波仿真结果

误差小于 5%；联合工艺线开发 PDK，支持国内工艺平台不少于两个，器件库器件数量不少于 20 种；链路分析支持光电器件数量不少于 500 个；三维计算机辅助设计引擎支持刷新速度不低于 30fps@2K；版图绘制、自动布线及规则检查速度不低于 100 个器件/小时。（2）开发出可适用 III-V 族和硅、氮化硅、锗等多种材料体系下光电芯片仿真，与国外同类软件相比精度误差小于 5%；软件用户不少于 100 个，单位用户不少于 20 个，支撑 3 项以上“信息光子技术”专项项目的研发，实现典型示范应用；申请发明专利和软件著作权 15 项以上。

1.4 面向规模集成的高效硅基光波导放大器和激光器（关键技术类）

研究内容：针对硅基光电集成发展所面临的瓶颈问题，开展可用于规模化硅光集成的光放大器和激光器研究。研究硅基发光的基础理论与方法，研制高增益、低损耗的硅基稀土掺杂光波导放大器；研究基于掺杂玻璃材料的超小型低噪声光放大器；研究高质量硅基 III-V 族外延和键合等关键工艺，研制电泵浦的高输出功率的硅基量子点激光器；研究高效新型波导耦合器，使激光输出与 SOI 波导的基波场模高效耦合；开发和 CMOS 兼容的工艺实现硅基光源和超低损耗波导、以及其他无源器件的集成，完成芯片上光的放大和激光的高效耦合输出。

考核指标：研制出满足规模集成的通信波段、高增益、小尺寸硅基稀土掺杂光波导放大器，增益达到 5dB/cm 以上，

传输损耗低于 2dB/cm; 玻璃基掺杂的小型化光放大器信号增益 15dB 以上, 噪声系数 7dB 以下, 输出功率 10dBm 以上; 研制出低成本、高质量外延生长和键合的硅基量子点激光器, 激光器功率大于 30mW, 室温工作寿命大于 10 万小时, 阈值电流小于 50mA, 满足温度在 -40℃-85℃ 正常工作, 硅基光源与硅光波导的耦合效率大于 3dB 每端面。实现典型示范应用, 申请发明专利 20 项以上, 技术成熟度不低于 6 级。

1.5 光电融合集成低功耗光频梳芯片 (关键核心技术类)

研究内容: 围绕微腔光频梳的产生和调控核心机理, 以及与相关激光器、微腔、调制器和探测器等有源无源器件光电集成关键技术, 研究微腔光场演化规律与锁模机制; 研究高稳定性和相干性锁模方法; 研究微腔耦合和色散调控新机理与方法; 研究超低阈值光学微腔的结构与加工工艺; 研究电光调制光频梳技术和光频梳相位噪声的转化规律; 研究基于二维原子晶体的片上集成高效率激光、高速低功耗光调制和大功率探测器及其与微腔的光电融合集成技术。

考核指标: (1) 研制出适用于波分复用的宽光谱覆盖、高单梳齿功率的片上微腔光频梳器件, 梳齿间隔 100 GHz, 梳齿数不低于 30, 单梳齿功率不低于 1mW, RIN 噪声 $< -145\text{dBc/Hz}$; (2) 突破多种材料单片异质集成及混合集成的新工艺, 研制出低重频、光电融合集成的有源微腔光频梳芯片, 梳齿间隔 10 GHz, 实现有源器件与微腔的片上全集成, 光频梳芯片功耗 $< 10\text{mW}$, 合成的微波信号相位噪声低于 $-120\text{dBc/Hz}@100\text{kHz}$; (3) 突破超低损耗电光材料加工工艺,

研制出重复频率连续可调、光谱平坦的单片集成电光频梳产生器件,实现多调制器单片集成,梳齿间隔可在 5GHz~25GHz 之间连续可调, 10dB 带宽内梳齿数不低于 40, 插入损耗小于 20dB。(4) 攻克超低功耗光频梳光电集成芯片相关的新机理、新方法与新工艺,研制出高质量超低功耗光电融合集成光频梳芯片与器件。实现典型示范应用,申请发明专利 20 项以上,技术成熟度不低于 6 级。

1.6 相干太赫兹探测阵列芯片(关键核心技术类)

研究内容: 针对 6G 太赫兹波通信等应用需求,聚焦太赫兹波段阵列探测的光电融合感知集成芯片,突破抗干扰、多路并行传输和相干探测芯片关键技术,集成制备太赫兹高增益直接检测和相干检测阵列芯片。开展集成超表面微纳结构,对光场的强度、相位、偏振等特性进行多维调控研究,获得超表面偏振、相位调控微结构,实现高效率的太赫兹偏振和相位感知的新型探测技术与芯片原型。

考核指标: 开展太赫兹波混频器阵列的设计与制备,研究混频器阵列的低噪声高增益高带宽读出电路设计,基于准光学与超表面的太赫兹波耦合调控结构,超表面调控太赫兹偏振、相位集成探测的器件设计;研究互连集成封测技术,研制出 1×128 阵列规格的太赫兹传感阵列。(1) 探测频段: $340 \pm 20\text{GHz}$; 阵列规模: 1×128 , 阵元间距: 1-2mm, 支持直接检测和相干检测 2 种工作模式,直接检测帧频: $\geq 1\text{kHz}$, 直接检测 NEP: $\leq 50\text{pW/Hz}^{(1/2)}$, 相干检测帧频: $\geq 100\text{Hz}$, 相干检测 NEP: $\leq 10\text{fW/Hz}$, 工作环境温度: $-40 \sim 50^\circ\text{C}$ 。(2)

探测频段: $890 \pm 45\text{GHz}$: 阵列规模: 1×128 , 阵元间距: 1-2mm, 支持直接检测和相干检测 2 种工作模式, 直接检测帧频: $\geq 1\text{kHz}$, 直接检测 NEP: $\leq 100\text{pW/Hz}^{(1/2)}$, 相干检测帧频: $\geq 15\text{Hz}$, 相干检测 NEP: $\leq 50\text{fW/Hz}$, 工作环境温度: $-40 \sim 50^\circ\text{C}$ 。(3) 实现典型示范应用, 申请发明专利 20 项以上, 技术成熟度不低于 6 级。

1.7 通感测一体的阵列式微波光子关键技术 (关键核心技术类)

研究内容: 针对通信、传感、检测独立功能体系演进的资源和规模瓶颈, 研究通感测一体微波光子关键技术, 涉及信号共生共传、阵列化与信道化处理、多信道芯片与多波长器件等。重点研究微波光子通感测多模态信号一体化生成方法, 以及跨光域与电域的共存传输理论与性能; 研究通感测多功能交织下微波光子信号阵列化与信道化处理理论, 以及并行时域、空域、频域多维信号处理方法; 研究支撑通感测一体化的幅度、频率、相位联合调控型多波长相干光源、多信道调制与多端口处理芯片及器件。

考核指标: 完成微波光子多模态信号的共生方案, 以单个波形同时实现宽带通信、环境参量感知、电磁环境检测功能, 并具备覆盖微波、毫米波、THz 多个波段的能力; 建立涵盖电光与光电转换、光纤非线性效应、无线多径效应、高移动性 (500km/h) 多普勒频移效应等的通感测一体共传理论模型与仿真平台, 对各种效应进行均衡和补偿, 预测容量理论边界; 完成基于多信道协同、矩阵分解与合成理论 (8

×8)的微波光子信号处理方案,实施宽带对消、多径解耦、深度去噪、稀疏时空频感知、多普勒频偏补偿等效果。研制幅/频/相灵活调控的相干多波长光源(信道数不低于32),以及集多信道调制、复用、滤波、光路重构于一体的芯片与核心器件,工作带宽不低于40GHz。实现典型示范应用,申请发明专利20项以上,技术成熟度不低于6级。

1.8 多维复用基础理论研究(关键核心技术类)

研究内容:面向未来空分复用光通信系统应用,针对弱耦合少模、强耦合少模、弱耦合多芯、强耦合多芯等新型空分复用光纤,研究模与模之间、芯与芯之间能量的相互作用机理,建立空分光纤的品质因数模型,牵引空分复用光纤设计优化;研究非理想条件(如材料性能微扰、结构微扰、机械应力、温度应力等干扰因素)下的实用化光信号传输信道模型;研究增加空间维度后的QoT模型,指导空分复用系统的传输能力评估。

考核指标:建立/完善实用化空分光纤品质因数模型、传输信道模型,构建从光纤设计到传输质量的端到端工程分析能力。实现典型示范应用,申请发明专利20项以上,技术成熟度不低于6级。

1.9 超高速直调半导体激光器芯片(青年类)

研究内容:面向低成本高速光通信需求,研制超高速直调半导体激光器芯片。研究提升直调半导体激光器本征调制带宽的机理与方法;研究突破半导体激光器弛豫振荡频率限制并实现带宽拓展的物理机理与技术方案。掌握相关材料生

长、器件设计与制备，以及性能表征技术。

考核指标：直接调制带宽 $\geq 67\text{GHz}$ ；出光功率 $\geq 10\text{dBm}$ ；边模抑制比 $\geq 30\text{dB}$ 。直接模拟调制带宽指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，发表 SCI 论文不少于 5 篇，申请不少于 10 项发明专利。

1.10 超小尺寸微纳电泵半导体激光器芯片（青年类）

研究内容：面向低功耗高速数据通讯需求，研制超小尺寸微纳电泵半导体激光器芯片。研究提升微纳激光器垂直出射方向性的机理与方法；研究突破垂直腔面发射激光器出射方向性需要构建分布反馈式反射镜的限制。掌握相关材料生长、器件设计与制备，以及性能表征技术。

考核指标：通讯波段电泵激射；有源区面积 $\leq 10\mu\text{m}^2$ ，垂直发散角 $\leq 10^\circ$ ，激射阈值 $\leq 100\text{kA/cm}^2$ 。有源区面积指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，发表 SCI 论文不少于 5 篇，申请不少于 10 项发明专利。

1.11 超高线性度电光调制器芯片（青年类）

研究内容：研究电光调制器的带宽以及非线性特性，聚焦器件材料的物理效应机制，利用电光相互作用新方法，从材料、器件结构、驱动方法、测试表征技术等方面出发，对电光调制器的线性度进行改进。探索复合光波导超模式、干涉与谐振级联结构的组合原理，突破传统材料对器件性能的限制，同时实现大带宽、大无杂散动态范围的电光调制器。

考核指标：研制出超高线性度电光调制器芯片，工作波长 1550nm 的调制效率高于 $V_\pi L_\pi = 2\text{V}\cdot\text{cm}$ ，纤到纤总体插入损

耗 $\leq 6\text{dB}$ ，无杂散动态范围 $\geq 130\text{dB}\cdot\text{Hz}^{2/3}@10\text{GHz}$ ，电光调制 3dB 带宽 $\geq 40\text{GHz}$ 。无杂散动态范围指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，发表 SCI 论文不少于 5 篇，申请不少于 10 项发明专利。

1.12 高速可集成单光子探测器（青年类）

研究内容：研究单光子探测器的最佳工作机制，研制基于半导体材料的可集成的单光子级别的高灵敏度和高速光强度探测器。研究单光子探测阵列在高速单光子通信中的应用。。

考核指标：实现对光信号在单光子级别上的宽带（ $\geq 2\text{GHz}$ ）探测和片上集成，单光子探测效率 $\geq 50\%$ ，暗计数率（ $\leq 10^{-5}/\text{gate}$ ）。单光子级别探测宽带指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，发表 SCI 论文不少于 5 篇，申请不少于 10 项发明专利。

1.13 超高品质因子光子集成芯片（青年类）

研究内容：面向高相干性光信号产生与处理的应用需求，开展超高品质因子光子集成芯片关键技术研究。研究光波导线性和非线性损耗机理，分析能量耗散过程，探索极低损耗的光子集成新材料、新结构和加工工艺。研究超高品质因子微型谐振腔的制备方法，探索光场模式、色散的灵活调控机制。研究波导与微腔的高效耦合原理与方法，实现片上耦合的微腔芯片。

考核指标：低损耗光波导传输线，损耗不大于 0.1dB/m ，长度不小于 1 米；片上耦合集成微腔，本征品质因子不小于

10⁸，谐振峰深度不小于 10dB。片上耦合集成微腔本征品质因子指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，发表 SCI 论文不少于 5 篇，申请不少于 10 项发明专利。

1.14 近零功耗非易失可重构光子器件（青年类）

研究内容：针对智能光计算对超大规模、超高速、超低功耗集成光电子芯片技术的需求，研究人工异质结构内光场、电场、热场的纳米尺度耦合机制，研制超低损耗相变材料非易失电致可重构光交叉连接器。

考核指标：相变材料 $\Delta n > 0.8$ 且 $\Delta k < 0.05$ ，非易失多态光开关插损 $< 0.5\text{dB}$ ，串扰 $< -20\text{dB}$ ，重构开关功耗 $< 1\text{nJ}$ ，交叉阵列规模大于 8×8 ，实现近零功耗可重构。核心技术指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，发表 SCI 论文不少于 5 篇，申请不少于 10 项发明专利。

1.15 基于拓扑优化的多波长光子晶体激光器阵列芯片（青年类）

研究内容：深入研究光子晶体能带的鲁棒性及能带连续变化规律，基于拓扑优化的光子晶体结构，探索可兼容低成本的光刻技术，实现多波长激光器阵列光源的新原理及新方案，输出通道间隔满足 ITU 标准。

考核指标：实现 64 路波长间隔 100GHz（0.8nm）的大规模光子集成光源，单路输出功率大于 10dBm。核心技术指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，发表 SCI 论文不少于 5 篇，申请不少于 10 项发明专利。

1.16 光学全通滤波器（青年类）

研究内容：研究全通滤波器的内在机理，基于有损的无源波导实现光学全通滤波器。提高全通滤波器的灵活性，实现全通滤波器相频响应的可调谐和可重构。研究低插损的高阶全通滤波，拓展全通滤波器的应用范围。研究基于全通滤波器的延时器，实现低功率抖动的可调延时；研究基于全通滤波器的微波光子移相器，实现低功率抖动的宽带微波光子移相。

考核指标：基于半导体无源波导研制出集成高阶光学全通滤波器，并实现滤波器的可调谐和可重构。基于高阶光学全通滤波器，实现 ns 级延时的光学可调延时器，改变延时大小对应的功率抖动 $\leq 0.3\text{dB}$ ；实现移相范围不小于 2π 、带宽不小于 40GHz 的微波光子移相器，功率抖动 $\leq 0.3\text{dB}$ 。指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，发表 SCI 论文不少于 5 篇，申请不少于 10 项发明专利。

1.17 超宽带高隔离度非互易光子集成芯片（青年类）

研究内容：研究非互易光子集成芯片，实现近红外光通信波段光隔离器、光环行器和多端口非互易光学器件的硅基集成。研究超宽带、温度稳定的硅基光波导集成非互易光学器件理论和设计方法；发展高性能非互易光学材料的硅基集成方法，实现低损耗、强非互易性磁光薄膜材料的硅基集成；突破磁光材料等非互易光学材料与硅基 CMOS 工艺兼容难题，发展硅基 CMOS 后端工艺兼容的非互易光子芯片集成技术。

考核指标：研制出硅基单片集成的磁光非互易光子芯片。在 1550nm 波长范围，芯片插损低于 3dB，隔离度高于 25 dB，20dB 隔离带宽大于 80nm，覆盖 1530-1565 nm 波段，实现 8 × 8 端口间的非互易光传输。核心技术指标达到国际领先水平，实现典型示范应用，发表 SCI 论文不少于 5 篇，申请不少于 10 项发明专利。

2. 光计算与存储技术

2.1 光电混合 AI 加速计算芯片（关键核心技术类）

研究内容：面向 CNN（卷积神经网络）中对卷积计算的算力需求，研究非相干光，相干光多波复用的卷积实现机理和方法，研制基于混合集成技术的光学卷积芯片，实现包括光源、模拟芯片、数字芯片在内的同步设计和综合集成方案；面向时序信息处理蓄水池计算网络对存储和算力需求，研究光学蓄水池计算实现的机理与方法，研制支持规则拓扑实现与随机拓扑生成的片上光学蓄水池计算芯片。研制实现基于特殊应用优化的集成光学计算芯片方案。

考核指标：（1）研制出混合集成的光学卷积芯片，一维卷积单芯片最大支持 128 相量长度，二维卷积单芯片最大支持 128 × 128 规模矩阵，目标精度 8bit，同时通过光学矩阵的波长数量大于等于 2 路，端到端单次时延小于 500ps，能效比高于 10TOPS/W，力求达到计算密度 1TMACs/s/mm²，完成数据智能搜索和查找应用场景演示，整体能效比相比同期电系统（GPU 和 FPGA 等）提升 10-100 倍；（2）研制出光学蓄水池计算芯片，有效输入输出端口不小于 128 路，隐

含层 500 节点以上规模，系统归一化均方误差小于 0.05，完成多维时间序列数据异常检测和趋势预测应用场景演示；（3）完成光电芯片联合封装和控制，其中光芯片上主动单元数量大于 10000 个，完成主流卷积神经网络指标测试和演示，包括应用于 Imagenet 数据集的 Resnet50 神经网络演示，每秒处理图像数量不小于 5000 帧(>5,000 fps)，总能耗小于 150W；（5）探索出适用于混合集成光学芯片的深度学习应用场景；（6）实现典型示范应用，申请不少于 20 项发明专利，技术成熟度不低于 6 级。

2.2 光学神经拟态计算系统（关键核心技术类）

研究内容：神经拟态处理模拟生物大脑处理机制，研究具备自适应性、稳健性和快速性的光学神经拟态脉冲网络。研究拟态神经网络实现架构，神经元的硬件实现（低损耗，可恢复，低阈值），大规模相位调制芯片，研究激光器、探测器等非线性器件集成技术与扩展性，全光神经网络非线性材料及功能研究，研究基于忆阻器的信息缓存技术，研究神经拟态网络训练算法。研究高速信号输入，大规模探测阵列，光电接口线性与非线性计算神经网络架构。匹配目标追踪、基因分析等应用场景进行研究。

考核指标：完成光脉冲神经网络理论研究，包括网络可扩展性模型、基本神经元单元性质、光脉冲神经网络学习算法，可实现高准确度的元音单词识别，达到国际先进水平。研制大规模光学神经网络协处理器，技术指标满足当前目标跟踪、基因分析等场景的神经网络计算需求，最终实现光

学神经网络协处理器的计算演示。研制出光脉冲神经网络芯片及原型，可实现高准确度元音单词识别的技术演示，在光脉冲神经网络算法和芯片领域取得原创性成果，围绕目标跟踪和基因分析场景，研制算力大于 10TOPS，达到国际高水平的的光学神经网络协处理器，该处理器可以实现大规模的衍射单元和隐层数目。实现典型示范应用，申请不少于 20 项发明专利，技术成熟度不低于 5 级。

2.3 PB 级超低功耗纳米光存储技术（关键核心技术类）

研究内容：研究超分辨光信息存储技术，突破衍射极限，实现 10 纳米以下分辨率的超分辨记录与读取，同时结合多维复用技术，实现单张标准光盘 1PB 的容量，简化超分辨光学系统，降低超分辨率技术的能耗，实现单比特 10fJ 的读写能耗。研究金属纳米颗粒、稀土掺杂纳米颗粒、量子点、石墨烯、拓扑绝缘体钙钛矿等新型纳米材料，结合有机、无机玻璃基质，开发适合超分辨光信息存储技术的长寿命光信息存储材料，实现 200 年以上存储寿命。通过深度学习等人工智能的技术，结合人工智能芯片，针对颜色、偏振、强度等光信息存储的特征参数，建立基于超分辨光信息存储技术的人工神经网络，实现大量并行的读写过程，从而达到 100 Gb/s 的存储速度。

考核指标：开发长寿命新型纳米复合材料，结合人工智能技术，实现绿色纳米光子学光存储技术研发，实现 200 年连续的读写 1PB 的信息，单数据点存储能耗降低 1000 倍（10fJ/bit），数据读写速度达到 100Gb/s。突破纳米光子学

光信息存储技术，支撑下一代大数据中心数据存储想更长寿命，更高速、更加节能方向发展。实现典型示范应用，申请不少于 20 项发明专利，技术成熟度不低于 6 级。

3. 光显示与交互技术

3.1 感存算一体光电融合芯片技术（关键核心技术类）

研究内容：面向视觉图像大数据边缘实时处理需求，研究智能化三维堆叠型视觉信息光电感存算芯片，包括：研究灰度、深度兼容成像并具备速度感知功能的多维度视觉信息传感技术，研制具备灰度、深度、速度等多维度信息感知功能的视觉传感器；研究基于深度神经网络的多维度视觉信息处理器架构及电路设计；研究二维三维融合视觉信息光电感存算芯片架构设计、视觉图像处理软硬件协同设计、多层三维堆叠集成技术，以及相关可靠性问题，研制智能化三维堆叠型视觉芯片，具备图像信息原位、智能化识别处理、语义分析及情感计算功能，具备大容量图像信息存储功能。

考核指标：研制出多维度视觉信息传感器，二维视觉图像分辨率>500 万像素、成像速率>100 帧/秒，深度图像分辨率>100 万像素、三维成像速率>60 帧/秒，速度场分布图像分辨率>100 万像素、生成速率>30 帧/秒；研制出多维度视觉信息智能处理器和智能化三维堆叠型视觉信息光电感存算芯片，实现智能化检测、识别、目标跟踪以及语义分析、情感计算的实时处理，集成视觉存储器容量>100M、视觉处理器算力>10TOPS。研制出面向先进显示与交互应用的感存算一体光电融合系统芯片，建立技术优势。实现典型示范应用，

申请不少于 20 项发明专利，技术成熟度不低于 6 级。

3.2 高通量三维光场实时获取和感知技术(关键核心技术类)

研究内容: 针对三维视觉感知与三维内容生成的能力和精度瓶颈，研究高通量光场获取与三维处理技术，实现对大范围视觉场景的高精准三维视觉感知和高逼真光场三维内容获取；研究面向宽视场大范围的高通量光场获取装置，实现宽视场大范围现实场景三维感知；研究宽视场高分辨的高精度实时深度计算方法和大范围场景的多对象三维表示与三维重建方法。

考核指标: 构建基于三维动态场景实时光场获取及实时呈现技术与系统，在医疗、工业、教育、文化等领域应用示范，形成国际领先的技术优势。实现 RGB 通道视频分辨率达到 10 亿像素@30fps，并实现 0.25 米到 200 米范围内场景的连续深度感知；深度信息输出达 8k 分辨率@30fps。三维深度计算精度误差 $\leq 1\text{mm}@2$ 米， $\leq 100\text{mm}@10$ 米， $\leq 1\text{m}@100$ 米。场景内的多对象高精度实时三维重建，三维重建精度： $\leq 1\text{mm}@2$ 米， $\leq 10\text{mm}$ (20 米外，相对精度)。实现体系化、全链条典型示范应用，申请不少于 20 项技术发明专利，国际行业标准提案不少于 2 项，技术成熟度不低于 6 级。

3.3 临场真实感近眼三维显示技术与装置(关键核心技术类)

研究内容: 围绕限制真实感近眼显示发展的高性能核心器件，便携呈现方案，质量评估方法以及移动混合现实应用等方面开展技术突破，研究面向人眼观察习惯的光场再现高

分辨率三维显示方法，实现便携化光场近眼显示系统；研究大视角、非相干、低噪声全息近眼显示方法，实现高图像质量轻小型宽色域全息近眼显示方法；研究真实感近眼显示的性能测试与质量评价方法，建立面向近眼显示的真三维模型创建渲染以及性能参数测试平台和规范标准；研究端云协同的真三维混合现实场景构建呈现以及应用。

考核指标：实现临场真实感近眼三维显示技术与装置，搭建近眼显示测试平台，覆盖深度、分辨率、清晰度、延时等核心参数，并在医疗、工业、军事、文化等领域进行应用，形成国际领先的技术优势。实现空间带宽积($\geq 10^7$)，连续深度再现(0.25m-6m)，轻质量（光学系统质量 $\leq 350\text{g}$ ），旨在保持高分辨率和大视角的基础上，实现符合人眼观看习惯的真实感近眼三维呈现技术和系统。实现体系化、全链条典型示范应用，申请不少于 20 项技术发明专利，国际行业标准提案不少于 2 项，技术成熟度不低于 6 级。

3.4 裸眼 3D 显示核心光学器件研究和开发（关键核心技术类）

研究内容：针对新一代裸眼 3D 显示的关键共性技术，开展多视角、大视场、高分辨、高性能的裸眼 3D 显示架构研究；结合不同显示 3D 屏幕和场景，重点研究和优化集成成像 3D 显示、多视点 3D 显示等光场设计与架构；研究裸眼 3D 显示指标与人眼主观体验的相互影响因素；研发新型裸眼 3D 显示屏幕检测系统。结合裸眼 3d 显示新架构研发新一代裸眼 3D 显示核心光学器件，包括微纳光栅阵列、微透镜

阵列、光学超表面阵列等相关微纳光学器件；深入研究显示像素与微纳光学结构的相互作用机理、基于面板光源微纳光学准直收束技术、可见光高效率指向性偏折技术；研究大面积高精度微纳光学器件和材料的制备工艺、性能测试与优化方法等。

考核指标：实现高清、无晕眩、无重影等体验的裸眼 3D 光场显示系统，优化屏幕尺寸、分辨率、视场角、视点分布、角度分辨率、图像深度、串扰、像素光场分布、屏幕像素分配、像素光源整形等光场设计指标，提高 3D 观看体验。在保证观看分辨率和视场角的前提下，突破传统裸眼 3D 显示的限制，建立人眼主观感知和裸眼 3D 显示指标的模型。通过核心器件研发突破现有双目视差 3D 显示体验，提高光场调控的精度、清晰度、可视范围和光效率，实现器件的轻薄化和高集成性，整体器件厚度低于 0.5 mm。研制出新型 3D 显示关键光学器件，为新型裸眼 3D 体验提供光学硬件支撑。核心技术指标达到国际领先水平，实现体系化、全链条典型示范应用，申请不少于 20 项技术发明专利，国际行业标准提案不少于 2 项，技术成熟度不低于 7 级。

3.5 3D 显示关键共性技术与架构（关键核心技术类）

研究内容：针对新一代裸眼 3D 显示的关键共性技术，开展多视角、大视场、高分辨、高性能的裸眼 3D 显示架构研究。结合不同显示 3D 屏幕和场景，重点研究和优化集成成像 3D 显示、多视点 3D 显示等的光场设计与架构。设计指标包括屏幕尺寸、分辨率、视场角、视点分布、角度分辨率、

图像深度、串扰、像素光场分布、屏幕像素分配、像素光源整形等。研究裸眼 3D 显示指标与人眼主观体验的相互影响因素。研发新型裸眼 3D 显示屏幕检测系统与平台。

考核指标：针对不同的裸眼 3D 显示设备和场景，优化裸眼 3D 显示的各项关键技术指标，实现所有场景下的裸眼 3D 体验。实现高清、无晕眩、无重影等体验的裸眼 3D 光场显示系统，优化光场设计指标，提高 3D 光看体验。在保证观看分辨率和视场角的前提下，突破传统裸眼 3D 显示的限制，建立人眼主观感知和裸眼 3D 显示指标的模型。核心技术指标达到国际领先水平，实现体系化、全链条典型示范应用，申请不少于 20 项技术发明专利，国际行业标准提案不少于 2 项，技术成熟度不低于 7 级。

“多模态网络与通信”重点专项 2021 年度项目申报指南建议 (征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“多模态网络与通信”重点专项。本重点专项总体目标是:持续推动新型网络与通信技术演进和创新,重点开展多模态网络、新一代无线通信和超宽带光通信技术研究,为建设网络强国奠定坚实基础。

根据本重点专项工作部署,现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则,拟围绕多模态网络、新一代无线通信、超宽带光通信等 3 个技术方向,启动 10 个指南任务。

1. 多模态网络

1.1 多模态网络的软件定义互连交换芯片关键技术与验证

研究内容:面向多模态网络网元设备研制需求,以软件定义硬件为基础,开展多模态网络交换芯片架构、模态隔离转发技术、状态可编程技术、模态加载和编译技术等研究,突破软件定义数据链路层协议、软件定义报文解析、多模态混合可编程交换和软件定义 QoS、高负载下模态弹性无扰隔离技术、大规模状态表下的线速转发等关键技术难点,形成多模态高效芯片处理架构,完成支撑多模态网络的软件定义

互连交换处理器原理验证。

考核指标：提出高效多模态网络互连交换处理器架构和系列芯片设计方案,支持状态可编程,支持多模态加载、编译及运行，实现大规模状态表下的高性能转发，支持模态间的弹性隔离。端口传输速率 100Gbps，支持不同模态下的有状态寻址或无状态寻址，流表项状态表大于 10k，支持两种以上软件定义数据链路层协议。完成设计方案 1 份、关键技术验证报告 1 份，专利 15 篇、论文 5 篇。

1.2 工业互联网络模态关键技术研究及验证

研究内容：针对工业互联网人机物全面互联的发展趋势，以及港口、能源、交通、制造等工业应用特征，开展基于多模态网络的工业互联网络模态总体架构、网络控制管理技术、基于工业标识的寻址路由、异构工业网络融合和复合业务灵活编排技术、内网能力融合部署、云网边端融合模型下的算力度量和工业智能技术、面向重点行业的模态生成和应用适配技术等研究，突破工业互联网共性能力生成、确定性转发、内生安全体系构建、快速高效的静态/动态流量调度、超低时延传输、边缘网络组网、大连接高效分发等技术难点，开展工业互联网络模态相关关键技术原理和原型系统验证，形成重点行业多模态网络解决方案。

考核指标：完成工业互联网络模态总体架构的方案设计，构建基于多模态网络的工业网络和算力融合互联互通技术体系，建立基于多模态网络的工业网络模态能力评估体系与评估工具；完成多模态网络架构下，具有时延敏感特性的

工业网络控制系统验证，支持不少于 3 个厂家的设备互联互通，流量调度延时时间达到<10 微秒级；完成异构硬件算力和用户算力需求可度量的算力服务系统、时延敏感网络边缘网关系统的方案验证，支持不少于 5 种工业网络模态；形成不少于 3 个行业的多模态网络解决方案，开展不少于 5 种典型应用验证；申请专利或者软件著作权 15 项以上，提交国际或国内标准草案 5 项以上。

1.3 多模态边缘网络芯片与设备关键技术研究及验证

研究内容：围绕协议体制异构、安全等级不同、接入速率多样和服务需求差异等多模态边缘网络特性，开展多模态边缘网络协议体系、异构协议适配与融合，多模态用户安全准入与流量隔离，多模态报文确定性能保证等技术的研究，突破异构协议高效适配与一体化融合技术、动态用户身份认证与安全加固技术、有限资源实时优化调度与确定性保证技术，完成基于自主芯片的方案设计和多模态网络边缘设备关键技术的验证。

考核指标：提出多模态边缘网络协议体系，支持各种边缘网络模态的平滑接入；设计轻量化的异构协议适配与融合机制，支持多模态边缘网络无损互联互通；设计多模态边缘网络内生安全机制，支持多模态用户安全准入与流量隔离；设计确定性资源调度算法，支持多模态报文确定性能保证；完成边缘设备芯片的方案设计和高性能多模态网络边缘设备关键技术的验证，单端口速率不低于 40Gbps,吞吐量不低于 2.56Tbps，支持网络有状态数据平面可编程。提交方案设

计报告一份，技术验证报告一份，申请专利 10 项，发表论文 10 篇。

2. 新一代无线通信

2.1 6G 通信-感知-计算融合网络架构及关键技术

研究内容：海量数据驱动 6G 网络向智能化演进，算力需求飞速增长。依赖于环境信息感知的自动驾驶、沉浸式体验等业务孕育催生，通信节点的内生智能感知能力亟待提升。亟需研究 6G 通-感-算融合网络架构，构建智能、分布式算力、通感融合架构；研究智能通-感-算融合技术，实现通信技术、感知技术、计算技术的深度融合；研究实时/智能/绿色的算力网络技术，为 6G 通-感-算融合网络架构提供算力支撑；研究通-感-算一体化信号与数据处理机制、干扰管理，研制通感一体化试验系统。

考核指标：形成 6G 通-感-算深度融合的网络架构方案，显著降低 6G 网络的部署成本、能耗水平，并开展使能技术的原型验证。与通-感-算非融合系统相比，通信容量提升 50%，定位性能达到厘米级。

2.2 6G 超低时延超高可靠大规模无线传输技术

研究内容：工业物联网、自动驾驶等垂直行业应用对 6G 网络提出了超低时延超高可靠的需求，低时延和高可靠成为 6G 支撑智能物联的基础性指标。开展 6G 超低时延超高可靠大规模无线传输理论研究，建立面向低时延高可靠通信的信道容量表征；研究海量终端低时延高可靠通信的跨域协同及适配技术；研究时频空码波及计算缓存多域资源的协同技

术；研究海量终端低时延高可靠通信接入与多连接技术；研究 6G 超低时延超高可靠无线空口技术，实现无线传输环境、业务模型和用户特征等多维特性的深度适配。

考核指标：建立超低时延超高可靠大规模无线传输技术体系，提出跨域协同及适配、低时延高可靠接入及多连接技术。开展低时延高可靠大规模无线传输技术的试验验证，传输时延和可靠性性能较 5G 提升 1 个数量级。

2.3 Q/V 频段宽带星载相控阵多波束天线技术

研究内容：面向卫星互联网星座业务向更高的通信频段延伸发展的需求，研究突破宽带 Q/V 频段星载相控阵多波束天线总体设计、超密集收发组件与多波束形成网络集成、空时频多维抗干扰以及波束灵活赋型以及机电热一体轻量化设计等关键技术，研制 Q/V 频段天线原理样机。

考核指标：1) 频段：发射 37.5GHz-42.5GHz，接收 47.2GHz~50.2GHz、50.4GHz~52.4GHz；2) 波束数量：发射不小于 8 个，接收不小于 8 个；3) 极化方式：圆极化；4) 最大单波束带宽：不小于 1GHz；5) 支持跳波束扫描应用模式，扫描范围大于等于 $\pm 45^\circ$ 圆锥区域；6) 支持波束赋形，支持功率在波束间的灵活分配；7) 单波束最大 EIRP：不低于 58dBW；8) 单波束最大 G/T：不低于 13dB/K。

2.4 天地一体多场景、宽窄带融合接入技术

研究内容：面向未来天地融合多频段、宽窄带一体、大容量和安全接入需求，开展多频段天地一体接入新型波形设计、面向跳波束捷变覆盖的波形优化设计及空间分集传输技

术、面向天基物联网的大容量、低复杂度非正交多址接入技术、基于压缩感知的天基物联网空中信号重构及低复杂度检测方法、星地非理想链路条件下的物理层安全接入技术研究以及基于多业务子带滤波的资源切片方法，研制原理样机，完成演示验证。

考核指标：波形支持 L/S、Ku、Ka 和 Q/V 多频段的天地一体化接入；波形设计支持相控阵波束扫描模式；在相同 SINR 下，新波形设计较 OFDM 的频谱效率提升 10%，相同频谱效率下峰均比较 OFDM 降低至少 3dB；物联网信道超载率不小于 150%，单波束支持用户数不小于 10 万(1.5MHz 带宽)；物理层传输和安全一体化设计，非合作用户误码率可达 50%；支持至少 2 种场景不同波形的切片处理。

2.5 意图驱动的星地融合智能组网技术

研究内容：面向星地融合的组网互联与信息传输需求，结合卫星网络动态拓扑、异构链路等条件，研究网络结构与功能的弹性适配技术、星地网元自适应动态协作部署技术、多尺度网络切片及智能适配技术、意图驱动的天地一体混合业务接入控制技术、天地一体多维网络资源智能感知技术以及时敏确定性路由转发技术，构建地面原型系统，完成演示验证。

考核指标：1) 支持面向异构业务的智能服务部署、迁移、升级及扩容等能力；2) 适应不同业务需求与节点处理能力，支持网络功能柔性分割与网元动态协作部署；3) 支持至少 5 类业务的智能感知、识别和自动化网络配置，识别

准确性不低于 95%；4) 实现时空大尺度下的轻量级、细粒度网络资源利用态势的感知，资源类型不少于 6 种；5) 支持多要素的灵活切片，可同时运行至少 5 类切片策略；6) 实现时延可预测的大尺度空间路由机制，时延预测误差不超过 10%。

3. 超宽带光通信

3.1 高速长距光纤传输系统软件设计平台

研究内容：面向高速长距离单模光纤传输系统的应用需求，聚焦灵活性、可靠性、可演进性，基于计算机编程语言，研究开发具有自主知识产权的高速长距光纤通信系统仿真软件平台，服务于下一代高速长距光纤通信系统设计开发和系统应用，填补国内空白。基础仿真性能对标业界现有商用软件，实现光电器件建模、光纤信道建模和经典收发算法集成；仿真建模支持 GPU 加速，支持灵活可编程和人工智能收发算法。开发一套完整开源、可靠的、智能化、可编程的高速长距光纤通信系统仿真软件平台。

考核指标：（1）基于高速长距单模光纤传输系统，实现 C+L 波段，最少 40 通道、单波长最高速率不低于 800 Gb/s、最长距离不低于 1000 公里的仿真软件平台；（2）智能仿真软件平台包括光电器件建模模块、光纤信道建模模块以及收发端数字信号处理算法模块，支持多通道、双偏振信号传输，光纤信道建模支持经典分布傅里叶算法建模和人工智能建模双模式；（3）源代码通过计算机编程语言（C、C++、Python 等）以及开源代码库实现，支持 GPU 加速，收发算法支持

灵活编程，支持人工智能算法，具备实现端到端深度学习算法的能力；（4）软件需要开源，模块化可扩展，具有图形用户界面（GUI）控制光学组件布局、传输系统参数以及算法模块，同时具有可视化工具分析时域波形、光谱、眼图、星座图等；（5）在背靠背底噪相同的情况下，40 通道 800Gb/s 信号 1000 km 仿真软件平台运行结果与真实系统的误码率在同一量级；（6）申请不少于 10 项发明专利，10 项软件著作权。

3.2 面向工业互联网应用的超低延迟、超大连接无源光网络关键技术研究

研究内容：聚焦工业互联网中的确定性低延迟和低抖动传输、单主站多点控制等新特性、新场景的应用需求，开展匹配工业多样化场景应用网络的支持超大连接的无源光网络新型接入复用架构研究，研究基于 P2MP 架构的低成本高集成度光接入系统、工业互联网汇聚网关 OLT 与接入网关 ONU 的关键技术，探索通过多维复用、相干光检测等多种路线提升单端口在线连接数并降低端到端传输延迟的方案。研究超大连接下工业无源光网络智能管理运维方案，开展边云协同模型架构及功能研究，构建面向工业智能的边云协同模型与要求的统一标准规范，进一步完善工业互联网边缘计算行业标准体系，开展工业无源光网络在新场景下的示范演示，推动相关产业标准制定，实现成果落地。

考核指标：针对工业多样化场景应用需求，研制低延迟、超大连接工业无源光网络系统，系统单个 OLT 设备可同时支

持用户光接入节点数不少于 1024 个，单节点接入能力最大不低于 50Gbps，各接入节点单向信息传输延迟可根据业务应用场景灵活配置，平均延迟最小不超过 10 μ s，定时精度不超过 50ppb，工业 ONU 网关支持边缘计算以及容器功能，支持工业协议不少于 30 种，匹配工业互联网智能制造的各类设备，开展支持智能运维的工业无源光网络在新场景下的示范应用。申请不少于 30 项发明专利，贡献国际标准提案不少于 10 项。

“区块链”重点专项 2021 年度 项目申报指南建议 (征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“区块链”重点专项。本重点专项总体目标是：聚焦区块链领域的紧迫技术需求和关键科学问题，建立自主创新的区块链基础理论体系，突破区块链系统构建与共性关键技术，加强区块链监管与治理技术研究，推动建立区块链与其它前沿信息技术相融合的新一代信息基础设施与服务，开展在重点领域的应用示范，打造具有国际竞争力的区块链技术与产业生态。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，拟围绕区块链基础理论、系统构建与共性关键技术、安全监管与治理等 3 个技术方向先期启动 7 个指南任务。

1. 区块链基础理论

1.1 新型区块链体系架构设计理论与方法

研究内容：针对当前区块链体系架构在性能、可扩展性、安全性、隐私保护等方面的困难与挑战，研究支持多链（片）并行的高性能区块链体系架构，提升区块链系统的可扩展性和可伸缩性；研究支持海量业务并发的区块链体系架构，提

升区块链的交易并发处理性能；研究基于国家密码算法的区块链内生安全架构，实现区块链节点行为的全维多粒度安全防护；研究区块链的节点身份认证、分级访问控制、数据加密及隐私保护等核心功能在区块链体系结构的支持机制。

考核指标：提出高性能多链（片）并行区块链体系架构，支持的并行分片数不低于 1000；交易并发处理的吞吐量达到 60,000 TPS；基于国密算法实现区块链海量节点行为的持续安全防护，威胁阻断准确率不低于 90%；实现面向新型区块链体系结构的身份认证机制、新型分级访问控制、隐私保护机制、国产加密及数据密态运算。

1.2 面向区块链的高容错密码体系关键技术研究

研究内容：针对区块链高容错密码的安全性、可扩展性和高性能等问题，研究满足一致性、活性等安全属性的密码学新原理；提出满足该属性的密码设计机理，设计大规模、高性能的拜占庭容错算法、设计理论性能最优的异步算法；研究主动安全的容错密码理论，设计分布式密钥重分享协议。

考核指标：提出的拜占庭容错算法在半同步网络不少于 600 个节点参与时吞吐量达到 60,000 TPS，确认延迟不大于一分钟；异步网络环境下在消息复杂度、时间复杂度、通信复杂度等指标上达到理论最优；密钥重分享协议支持国密算法，在不少于 600 个节点参与时同步网络环境下延迟不大于 100 秒。

1.3 高延展性可证明安全共识算法及系统设计理论与方

法研究

研究内容：针对拜占庭共识机制，动态节点增删安全性缺乏理论保障、异步网络环境安全性难以保障、系统可延展性弱等问题，研究安全高效、可支持动态节点、高延展性的共识机制设计理论和拜占庭共识系统架构；研究可证明安全高效的分片共识方案；构建复杂网络环境下的共识协议的合理安全模型。

考核指标：提出具有可证明安全性的异步共识算法，延迟低于 200ms，吞吐量达到 60,000 TPS；给出支持节点动态加入和离开的可证明安全共识算法，延迟增幅低于 50ms；分片共识及存储方案，可延展至 500 个节点以上，分片后吞吐量提高 200%。

2. 区块链系统构建共性关键技术

2.1 区块链性能模型及多层次协同优化关键技术研究

研究内容：针对传统区块链低性能与高频交易需求间的矛盾，研究区块链性能模型及多层次协同优化技术，具体包括研究多指标约束下的区块链性能模型；研究低时延低冗余区块链网络传输协议；研究适用于大规模网络部署的低开销且兼顾公平与效率的区块链共识机制；研究数据存储模型及高效存储机制；研究链上扩容与链下扩容协同优化方法；研究智能合约并行执行冲突消解技术，提高合约并行执行效率。

考核指标：提出多指标约束下的区块链性能模型，基于该模型设计至少 3 种主流区块链系统的性能优化方法；建立

1 套区块链性能多层次协同优化技术体系，部署于不少于 3 种主流区块链系统，交易确认延时不超过 1 秒、吞吐量不低于 60,000 TPS；研发区块链智能合约执行平台，支持不少于 10 种应用场景的智能合约。

2.2 区块链可证明安全隐私保护技术研究

研究内容：针对区块链数据公开透明、无中心节点管控、隐私保护困难的问题，研究区块链系统的隐私安全风险，设计区块链匿名交易体系，设计通用安全可重组的隐私保护协议；研究区块链账号混淆机制，隐藏区块链交易发送方与接收方之间的交易关联关系；研究监管友好的区块链交易隐私保护机制，保护交易双方的地址、金额等敏感的交易信息，同时支持针对特定异常交易的追踪溯源；研究基于国产自主知识产权区块链平台的匿名交易平台，在金融等典型领域开展示范应用。

考核指标：区块链协议具备在并发混合使用场景下的安全性，提供严格的安全性证明；提出不少于 3 种区块链账号混淆方法，隐藏区块链交易发送方与接收方之间的交易关联；实现监管友好的区块链隐私保护系统，支持权威监管机构对异常交易信息的追踪溯源；区块链匿名交易平台支持用户账户数量不低于 10 亿；支持日交易量不低于 10 亿笔；在 32 个共识节点的规模下，交易吞吐量不低于 60,000 TPS，交易平均延时小于 1 秒；链上存储量可弹性扩展；平台技术成果应用于不少于 3 类场景。

2.3 区块链评测技术体系与系统研究

研究内容：针对区块链快速发展与评测体系、技术手段尚不完备之间的矛盾问题，研究建立区块链评测技术体系，涵盖真伪性、安全性、可靠性和合规性等方面；研究新型区块链技术的组件化评测方法；研究区块链系统的脆弱性发现、对抗策略与问题关系验证机制；研究区块链密码算法及协议的检测评估方法；研究区块链内容安全评测技术；构建评测工具库，设计实现区块链评测系统，支持评测策略的自适应调整；以区块链在能源、金融、物联网等典型应用为评测场景，研制差异化评测模板，实现穿透式评测，并对区块链系统的国产自主可控程度进行评测。

考核指标：建立区块链评测技术体系，形成 1 套区块链评测规范；提出不少于 3 种区块链系统脆弱性、内容安全及内容安全防护的评测技术；研制区块链脆弱性评测工具，支持多种网络协议、共识算法等的对抗推演和评测；研制区块链密码评测工具，并实际完成不少于 2 款区块链密码产品评测；构建评测工具库，建设评测系统，需具备区块链隐藏安全风险评测能力、高风险漏洞检测定位能力，支持评测策略自适应调整和执行；设计并实现不少于 3 种典型区块链应用场景的评测模板，支持区块链应用生态的自动化安全风险测试评估。

3. 区块链安全监管与治理技术

3.1 区块链生态安全监管关键技术研究

研究内容：面向区块链生态中存在的安全风险，研究适用于公有链、联盟链的安全生态监管技术框架，实现对区块

链生态体系的监管。研究精细化深度分析与识别技术，研究账号、交易、链群三维一体的区块链生态安全风险知识图谱构建技术，研究区块链数字身份关联技术；研制区块链生态安全监管系统，实现区块链不同层级共性安全风险识别与定位、安全风险事件的精准刻画和风险及时发现预警、网络空间与物理空间的实体穿透以及跨账户、跨平台的穿透式监管等能力；形成金融、能源等区块链场景下的生态安全风险分析和安全监管方案，开展监管示范应用。

考核指标：结合典型公有链及联盟链特征，形成区块链安全生态监管技术框架，提出共性安全风险规范，明确区块链不同层级安全风险；提出不少于 3 种具有精细化深度分析与识别、区块链生态安全风险知识图谱构建、区块链数字身份关联等能力的技术；支持不少于 10 类安全风险点的分析与识别，识别效率提升 1 倍以上；支持图谱构建、融合、推理等，形成百万级规模的实体关系图谱；数字身份关联推理分析准确度达到 90% 以上；形成国内金融、能源等区块链场景监管方案，应用规模不少于 2 类典型场景，每类场景下区块链应用不少于 3 个。

“网络空间安全治理”重点专项 2021 年度项目申报指南建议 (征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“网络空间安全治理”重点专项。本重点专项总体目标是：围绕全球网络公害、涉及民生的数据资产和“新基建”基础设施等领域的安全挑战，开展互联网基础设施、数据、网络公害、新技术新应用领域安全治理的战略性、基础性、前沿性研究，到 2025 年力争打造自立自强的网络空间安全治理技术体系，形成中国特色的网络空间安全治理方案，支撑实现网络空间的“共建、共治、共享”。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持“需求牵引、问题导向、强化基础、引领前沿”的原则，拟围绕互联网基础设施治理、网络空间数据安全治理、网络公害治理及新技术新应用安全治理 4 个技术方向，启动 15 个指南任务。

1. 基础前沿类

1.1 抗量子计算的加密体系及安全机理研究

研究内容：针对量子计算对传统密码体系的威胁，研究公钥密码算法经典数学困难问题的传统计算和量子计算算法；研究抗量子计算公钥加密、密钥封装、密钥交换、数字

签名算法的设计理论与分析技术；研究抗量子计算密码算法的安全性；揭示对称密码算法组件抗量子计算攻击的安全机理，刻画抗量子计算对称密码算法的安全强度。

考核指标：密码算法在电子计算和量子计算下的安全强度不低于 128 比特，给出具体参数选取下密码算法的电子计算和量子计算下的安全强度；开发抗量子计算密码算法的开源库，抗量子密码算法 ≥ 10 个；申请国家发明专利 ≥ 20 件，其中国际专利 ≥ 3 件，获批行业以上标准立项 ≥ 3 项。

1.2 隐私计算及安全保障基础理论研究

研究内容：围绕建立体系化的隐私计算及安全保障理论，形成数据处理全流程的隐私保护能力，研究面向隐私信息采集、发布、共享等阶段的隐私计算及安全保障模型；研究多维度隐私信息形式化描述方法、隐私信息的智能感知技术；研究面向智能处理的、保护效果与数据可用性平衡的高效数据采集隐私保护技术；研究跨系统数据统计、查询、发布的隐私保护技术；研究隐私信息延伸控制、销毁与取证溯源监管机制；研究场景适应的隐私动态度量与隐私保护效果评估技术。

考核指标：提出不少于 5 类智能处理的数据采集本地差分隐私保护机制和信息率-失真隐私保护机制；提出不少于 5 类跨系统数据发布和查询统计的扰动、脱敏混淆等机制；提出跨系统转发行为的延伸控制和隐私侵犯行为的审计监管机制；开发隐私动态度量与保护效果评估工具集，支持不少

于 5 类的隐私保护算法保护效果进行评估。

1.3 面向去中心化网络的信任模型与密码算法研究

研究内容：针对去中心化网络中身份互认困难、共识性能要求高、核心密码算法缺乏设计与分析的问题，研究去中心化内生信任建立与跨域管理技术；研究去中心化网络共识机制设计与分析方法；研制去中心化网络节点身份管理系统；研究面向去中心化网络应用的加密算法和数字签名算法；研究去中化网络安全评估模型与主动动态防御方法。

考核指标：设计满足大规模去中心化节点信任管理的轻量级信任模型 1 个；提出至少 1 种新型节点共识算法，共识节点数超过 200 个，事务处理时延小于 800ms；设计至少 1 种适用于去中心化网络的新型加密算法和数字签名算法，单核验签处理速度大于 40000 次每秒。

1.4 面向网络公害治理的知识图谱构建理论研究

研究内容：针对新型匿名化网络公害源头发现难、取证难、溯源难等问题，研究基于公害威胁数据时态特征的知识图谱构建方法；研究基于图挖掘的公害源关联分析方法；研究匿名网络公害行为主体画像及个体影响力分析技术；研究面向特定犯罪群体的画像追踪技术。

考核指标：实现 1 套数据规模在 TB 级别的公害威胁知识图谱系统，支持 10 种以上的异构数据输入，支持千万节点以上的图数据查询和机器学习处理，支持近实时的数据更新；匿名网络公害行为主体刻画准确度达到 95%，主体行为

预测准确度达到 90%；特定群体犯罪预测成功率达到 80%。

1.5 人工智能安全防御及评估技术

研究内容：研究偏见等定向、非定向安全风险，设计面向数据和模型的检测、防御方法；设计对抗训练、网络蒸馏等人工智能模型防御方法；研究面向神经网络模型的复制、破坏、非法分发等手段；研究面向人工智能模型的安全性评估体系，研发模型的可信性、公平性、鲁棒性与可解释性评测工具。

考核指标：提出不少于 5 种针对分类器威胁的检测和防御方法、不少于 3 种面向数据和模型的去偏方法、不少于 5 种鲁棒性人工智能算法、不少于 3 种人工智能模型安全完整性认证和盗版溯源方法、不少于 5 种人工智能模型安全性评测方法；支持不少于 3 种常用开发框架、上亿级神经网络参数的规模化安全防御与评估。

2. 共性关键技术

2.1 纳米级芯片/硬件综合安全评估技术

研究内容：围绕纳米级处理器集成电路、微体系结构和芯片三个层面的硬件安全需求，研究芯片反向码点提取技术、微弱信号精准探测技术和 lowlevel 固件代码读取技术；研究处理器硬件脆弱性检测技术；研究具备验证权限正确性、数据完整性、信息私密性等的漏洞测评方法；研究能够与功能性电子设计自动化流程有效融合的安全验证方法及量化评估体系；研究面向白盒测试的芯片设计代码加速仿真

与设计结构安全检测。

考核指标：支持不少于 5 类国产自主研发制造和国外主流芯片厂商的处理器芯片的安全测试，支持对处理器微体系结构设计的批量形式化安全检测，支持基于硬件仿真模拟和形式化验证的检测手段；支持 Verilog 和 VHDL 两类设计语言的白盒测试加速仿真与设计结构安全检测，具备基于形式化模型实现设计中时间、能量和电磁侧信道检测的能力；芯片层反向码点提取技术支持纳米级空间分辨率、微弱信号精准探测技术支持微米级空间尺度和微秒级时间分辨率，lowlevel 固件代码读取技术支持微米级空间电磁能力和亚微秒级时间分辨率。

2.2 互联网源地址验证表的分布式生成协议及设备研发

研究内容：针对当前互联网体系结构缺乏源地址验证体系的问题，研究自治域内部的源地址验证表分布式生成协议；研究自治域之间的源地址验证表分布式生成协议；研发高性能路由器，实现基于源地址验证表的源地址验证功能，实现源地址验证表的分布式生成协议。

考核指标：支持路由不对称和多路径路由场景下的源地址准确验证；自治域内部的源地址验证表生成协议支持路由环路检测；自治域之间的源地址验证表生成协议的通信开销不高于边界网关协议（BGP，Border Gateway Protocol）；提交 IETF 标准草案 3 项以上；路由器单槽位交换容量不低于 1.8T，单机端口交换容量不低于 36T。

2.3 高性能可扩展的资源公钥基础设施关键技术研究

研究内容：针对当前资源公钥基础设施（RPKI）存在的同步开销大、难以设置最长前缀长度、难以保障路径通告正确性等问题，研究 RPKI 的高性能数据同步方法，提高 RPKI 的可扩展性；研究 RPKI 最长前缀设置方法；研究 RPKI 根证书单边撤销的应急响应技术；研究 RPKI 的路径验证技术；研究 RPKI 的路由策略验证技术。

考核指标：RPKI 资料库支持依赖方在分钟级别增量同步所有资料库，并保证依赖方对 RPKI 资料库视图的一致性；最长前缀设置既能支持灵活的流量工程优化，又能防范子前缀劫持；提出降低 RPKI 对 5 个信任锚依赖程度的新技术，有效降低 RPKI 根证书单边撤销的风险；通过同时支持源验证、路径验证以及路由策略验证，RPKI 对 BGP 路由劫持和路由泄露的有效防范率达到 95% 以上；提交 IETF 标准草案 2 项以上。

2.4 开放环境下大数据安全利用研究

研究内容：针对当前开放环境中数据泄漏、恶意篡改、删除等问题，研究海量数据存储服务中的轻量级加密和安全存储理论，以及相应的安全高效存储、数据备份、高效数据同步技术；研究加密数据的高效安全检索技术，实现数据不解密情况下常用的数据检索操作；研究加密数据的高效计算技术，支持常用的数据运算操作；研究对平台数据、检索结果和计算结果的高效完整性认证技术；研究对开放平台的数

据滥用监管技术，提出针对开放计算平台数据滥用的有效监管。

考核指标：实现至少对 10TB 数据的高效存储、备份和同步运算；设计至少三种常用的加密数据计算方法，并在标准安全模型下证明其安全性；支持亿级数据量的存储、检索和计算，检索时间在秒级以下，并能对计算结果进行有效验证；实现存储、检索和计算的全日志功能，供第三方进行监管。

2.5 智能终端场景中移动应用的隐私管控研究

研究内容：针对智能终端场景中移动应用隐私保护与监管面临的底层安全支撑能力薄弱和运行时管控缺失难题，研究移动应用的数据敏感性量化及隐私保护效果评估方法；研究恶意应用和应用恶意收集数据行为的有效检测和准确溯源；研究从单一恶意应用检测到恶意应用家族检测以及恶意应用开发者、发布者和传播渠道的整体生态的安全性；研究应用运行时安全管控和威胁阻断技术；研发大规模移动应用隐私保护、管控和合规检测平台。

考核指标：研制一套大规模移动应用隐私保护和管控平台，支持日活亿级的移动设备管控；研制一套恶意应用家族检测系统和恶意应用开发者、发布渠道生态感知系统，支持不少于 20 种恶意应用家族；研发一套代码审计工具，能发现隐私和安全威胁不少于 10 种，数量不少于 20 个；在不少于三个现实业务场景开展应用示范。

2.6 隐私数据的个人权益保障研究

研究内容：针对个人数据被非法获取、交易和滥用等问题，研究个人敏感信息识别以及分类技术；研究公民个人采集信息的分散存储脱敏技术；研究针对个人敏感信息的监管技术；研究基于属性的个人信息保护和访问控制方法和理论，实现对个人信息扩散范围和使用期限的控制；研究数据遗忘技术，支撑公民对个人信息的遗忘权。

考核指标：支持至少 10 类以上不同人群个人敏感信息分类和识别，实现至少 100 万个个体敏感信息按照敏感级别进行分类；支持毫秒级的数据重构，支持至少对 100 万人的个人信息进行拆分脱敏存储和信息重构；研制一个个人敏感信息存储、管理和使用的综合性平台，提供对个人敏感信息监管服务、以及公民对个人信息的遗忘权和个人信息被使用的知情权等服务。

2.7 加密流量中网络公害检测与行为识别、阻断研究

研究内容：针对加密流量中网络公害监管与分析难、行为主体溯源难等问题，研究网络公害行为在加密流量各粒度层次下的形式表征方法；研究虚拟专用网络（VPN）网络流量的检测、工具识别；研究加密流量分类与网络公害行为识别方法；研究互联网加密网页、图片和视频内容真实性识别与验真技术；研究网络公害行为与主体的关联分析方法；研究面针对性网络公害行为流量阻断技术。

考核指标：VPN 流量识别时间不超过 20 秒，支持不少

于 50 种 VPN 工具分类；支持不少于 20 种常见加密应用分类，不少于 5 种网络公害行为分类与识别，时间不超过 20 秒，误报率小于 10%，漏报率小于 5%；实现网络公害行为与主体间的映射，主体数据库规模达千万级；支持常见加密视频平台不少于 10 种，能精准识别 40 万以上的视频，达到准确性不低于 98%，误识率不高于 1%，图片公害类型不少于 5 类，实现网络公害多媒体样本库规模不少于 1000 万条，公害账号库数据不少于 10 万。

2.8 智能驾驶汽车内部异构网络轻量化安全防护

研究内容：针对智能驾驶汽车内部异构网络安全防护严重缺失，传统安全方案受计算、带宽等资源限制难以有效实施的问题，研究面向嵌入式 ECU 的轻量化身份认证、消息加解密及密钥协商安全算法，研究安全系统资源占用轻量化技术；突破安全数据载荷的轻量化技术，减少由安全数据引发的报文帧增多及报文数据位占用；研究车载网络不同功能区域的安全等级划分、分域隔离及车载网络专用防火墙技术。

考核指标：车内时间敏感关键功能区域，数据加密处理与传输新增时延不超过 5ms；安全防护相关应用占用运行内存不超过 10%、占用存储空间不超过 5%；安全数据载荷新增报文帧不超过 10%、占用数据段不超过 10%；车载网络支持多层次安全域划分，防火墙支持访问行为控制、危险操作阻断、可疑行为审计等；轻量化信息安全防护技术在不少于

3 款车型上开展应用验证。

2.9 基于国产密码算法的工控编程平台安全防护技术

研究内容：围绕工控系统典型共性安全问题，研究工控安全防护模型，构建基于国产密码技术的工控编程平台安全防护框架；研究应用层代码、工程文件、操作记录、通信等加密技术；研究适配工业领域嵌入式平台运算能力的轻量级加密算法；研究编程平台应用层细粒度管控、运行态访问许可等认证技术；研究安全通信、静态可信认证、动态度量 and 身份认证体系。

考核指标：支持 IEC61131-3 规范，支持基于国产密码算法的标准总线协议栈加密，至少 5 种工业协议；可编程逻辑控制器(PLC)控制周期小于 10ms，IO 点数量大于 1000 点；支持不少于 5 种轻量级密码算法，性能不低于 20Mbps；分散控制系统支持基于 SM2、SM3、SM4 的算法应用接口，支持通信加密、身份认证等功能，最小控制周期小于 50ms，输入输出点数量大于 10000 点。

2.10 智能网联场景工业控制系统深度防御与安全处置技术

研究内容：围绕互联组网的智能装备集群对跨域跨时空网络威胁的有效应对、高安全弹性的防御架构以及强移动、强切换下的灵活性安全配置等的需求，研究面向智能装备互联场景的精细化网络管控技术；研究针对联网智能装备的高等级持续威胁联合协同分析技术；研究智能装备网络的安全

防御资源协同调度与灵活编排技术。

考核指标：支持 5G 网络可信接入，支持输入输出信号点 10000 点，控制周期 20ms；支持至少 3 种工业控制系统网络检测，支持 30 种以上工业通讯协议监测，支持至少 5 类典型攻击异常监测报警；工控设备预警覆盖面达到 80%，预警事件种类覆盖 80%，预警诊断的准确率达到 90%；支持至少 3 个行业的安全预警和应急响应方案；针对不少于 2 种重点行业在 5G 应用场景中开展应用验证。

“智能传感器”重点专项 2021 年度

项目申报指南建议

(征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“智能传感器”重点专项。本重点专项总体目标是：以战略性新兴产业、国家重大基础设施和重大工程、生命健康保障等重大需求为牵引，系统布局智能传感基础及前沿技术、传感器敏感元件关键技术、面向行业的智能传感器及系统和传感器研发支撑平台，一体化贯通智能传感器设计、制造、封装测试和应用示范环节，到 2025 年实现传感器创新研制支撑能力明显改善，产业链关键环节技术能力显著增强，若干重点行业和领域的核心传感器基本自主可控，专项引领传感器产业可持续规模化发展。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持问题导向、场景驱动、强化体系、协同发展的原则，拟围绕智能传感基础及前沿技术、传感器敏感元件关键技术、面向行业的智能传感器及系统、传感器研发支撑平台 4 个技术方向，启动 28 项指南任务。

1. 智能传感基础及前沿技术

1.1 高精度力学量的量子传感技术研究

研究内容：面向高精度、小体积力学量的量子传感应用需求，探索高精度力学量的量子传感新机制；研究微观尺度下量子调控及增强机理；研究量子传感结构跨尺度可控制造方法；研究噪声抑制及传感信号高效提取方法；研制高精度、小体积力学量量子传感器样机，开展试用验证。

考核指标：建立新型高精度力学量的量子传感理论方法；可测力学量种类 ≥ 2 种；实现片上敏感器件集成，力检测精度优于 $10^{-19} \text{N/Hz}^{1/2}$ ；申请发明专利 ≥ 2 项。

1.2 生化量检测用太赫兹传感技术研究

研究内容：针对特殊物质生化量检测难题，探索太赫兹增强传感新机理和新方法；研究太赫兹波调控及探测机理；研究生化量传感表征方法，研究生化量太赫兹传感器设计、制造方法；研制高灵敏生化量太赫兹传感器样机，开展试用验证。

考核指标：建立太赫兹增强传感理论；可测蛋白质、核酸、多糖、脂肪等生化量种类 ≥ 2 种，综合灵敏度 0.5RIU^{-1} 以上；太赫兹发射源和探测器实现片上集成，复杂环境下特殊物质检出能力国际领先；申请发明专利 ≥ 2 项。

1.3 结构光场纳米位移传感技术研究

研究内容：针对传统光栅类位移传感器存在栅线制造精度极限的问题，探索结构光场构建理论，以及相关位移传感方法；研究结构光场的高稳定构建、高精度调控和位移解调

等关键技术；研制纳米位移传感器样机，开展精密装备上的试用验证。

考核指标：建立结构光场构建理论和位移传感方法；线位移传感精度优于 $\pm 1\text{nm}@50\text{mm}$ 量程，测量分辨力优于 0.1nm ；角位移传感精度优于 $\pm 0.1''$ ，测量分辨力优于 $0.01''$ ；在精密装备上的应用场景不少于 1 个；申请发明专利 ≥ 2 项。

1.4 人体健康监测传感器自供能关键技术研究

研究内容：针对人体多参量生物传感器在无线场景下自供能入网难题，研究从人体获取能量的自供能技术、器件和组件；研究高灵敏人体多参量生物传感器；研究自供能组件与多种生物传感结构的匹配集成技术；研制人体多参量监测自供能生物传感系统，在医联网典型场景应用验证。

考核指标：传感器可检测温度、脉搏、呼吸等人体健康信号 ≥ 5 种，传感器件结构延展性 $\geq 30\%$ ；自供能组件的能源转换效率 $\geq 25\%$ ，峰值输出功率 $\geq 50\mu\text{W}$ ；自供能生物传感系统的性能保持率满足典型场景使用时限要求；申请发明专利 ≥ 3 项，制定技术标准 ≥ 1 项。

1.5 有机框架材料及气体传感技术研究

研究内容：针对有机框架材料高性能气敏机制不完善和实现路径不明确的共性问题，研究 MOFs、COFs 等新型有机框架材料及其衍生物的气敏机制和合成方法；研究高性能气敏元件设计制造技术；研制气体传感器样机，开展试用验证。

考核指标：建立新型有机框架材料及其衍生物的气敏理论；气体传感器功耗 $\leq 1\text{mW}$ ；实现包括一氧化碳、甲醛、氨气等不少于5种典型气体的高选择、高灵敏、高可靠检测，传感灵敏度、选择性、稳定性等性能指标相比现有水平提高2倍以上；申请发明专利 ≥ 2 项。

1.6 基于超材料的力热传感增强技术研究

研究内容：针对超材料传感器在特殊场景下力、热传感灵敏度低，以及增强传感构效优化难问题，探索超材料传感性能增强调控机理和方法；研究高灵敏超材料力、热敏结构设计方法；研制基于超材料的力、热敏感元件和传感器样机，开展高温环境下力、热测量的试用验证。

考核指标：建立超材料力、热传感增强新方法；基于超材料的力、热等物理量传感器样机 ≥ 2 种；传感器面向高温力、热测量等场景，灵敏度等性能指标相比现有水平提高2倍以上；申请发明专利 ≥ 2 项。

1.7 耐高温聚合物先驱体陶瓷薄膜传感技术

研究内容：针对薄膜类高温传感器环境耐受性差的问题，研究新型聚合物先驱体陶瓷薄膜敏感机制与规律，研究聚合物先驱体陶瓷薄膜敏感性能调控方法；研究多层薄膜体系的高温适配性、粘附性等制造关键技术；研制聚合物先驱体陶瓷薄膜传感器样机，在发动机高温模拟环境试用验证。

考核指标：建立聚合物先驱体陶瓷薄膜传感膜层体系；

研制传感器原型样机 ≥ 3 种，薄膜敏感元件耐温 $\geq 1100^{\circ}\text{C}$ ，应变系数 ≥ 30 ，热流灵敏度 $\geq 10\text{mV/W/cm}^2$ ；申请发明专利 ≥ 2 项。

1.8 柔性植入式多模态集成感知及调控技术研究

研究内容：针对脑部植入式传感器监测功能单一、微型化和集成度低等关键问题，探索柔性植入式多模态生理生化集成传感与电调节机理，研究可长期植入生物体的微小传感器设计制造关键技术；研制传感、电调控、信号处理的集成专用芯片；研究植入传感器和体表芯片的系统封装技术；开发多参数融合智能识别嵌入式系统，开展生物体微创口下系统的功能、稳定性及安全性验证。

考核指标：建立柔性基底植入式多模态传感理论模型；传感器具备压力、氧分压、 Na^+/K^+ 离子组分等测量功能，智能识别疾病数 ≥ 3 种；信号调理芯片具有信号处理、脉冲发生和无线传输功能，总功耗 $\leq 15\text{mW}$ ；传感器植入端温度变化 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ ，植入6个月系统测量误差 $\leq 25\%$ ；申请发明专利 ≥ 3 项。

1.9 异质微结构印刷工艺及传感器研究

研究内容：针对印刷制造薄膜类传感器结构精度低和在微圆周面上图形化加工传感器结构困难的共性问题，探索基于印刷工艺的高性能传感器异质微结构实现方法；研究微结构高精度批量制造关键加工工艺；研究传感器三维异质敏感

结构成套标准化印刷工艺；在热学量、可穿戴健康监测等面阵型传感器开展试验验证。

考核指标：薄膜最小印刷线宽可达 $50\mu\text{m}$ ，最小印刷薄膜厚度可达 $10\mu\text{m}$ ；微圆周面印刷最小偏转角度可达 20° ，印刷同轴度 $\leq 10\mu\text{m}/\text{mm}$ ；试验验证传感器种类 ≥ 3 种；申请发明专利 ≥ 3 项；制定传感器印刷工艺规范 ≥ 2 项。

1.10 微纳跨尺度结构集成的超灵敏生化传感器

研究内容：针对现有气体分子、溶液离子和生物分子等生化物质检测灵敏度低、选择性差的问题，研究跨微纳尺度复合结构超敏感生化传感方法，探索纳米效应增敏机制和信号转换机制，研究敏感界面与被测生化分子间作用的传感机理；研究纳米材料在特定敏感微区的一体化精确构筑技术；研制微纳结构一体化集成传感器原理样机，开展痕量生化传感应用验证。

考核指标：传感结构中局域选择自组装纳米材料 ≥ 2 种；NO、 Ca^{2+} 离子、抗坏血酸、多巴胺、mRNA 等生化传感原理样机 ≥ 3 种，检测限相比现有性能均提高 2 个数量级以上；芯片平面尺寸 $\leq 0.5\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ ；申请发明专利 ≥ 3 项。

1.11 感算一体化室温红外成像探测技术研究

研究内容：针对无人驾驶、安防监控等领域红外探测芯片功耗高、智能化程度低的共性问题，研究高质量、大面积、读出电路兼容的短波红外敏感薄膜制备工艺；研究低功耗

ADC 设计技术；研制红外探测器读出电路芯片；开发红外感知的新型神经形态信号流处理算法和硬件；研制感算一体的室温红外成像芯片，开展试用验证。

考核指标：短波红外探测器室温下暗电流密度 $\leq 1\text{nA}/\text{cm}^2$ ；单路 ADC 功耗 $\leq 50\mu\text{W}@10\text{bit}$ ；成像芯片原型器件集成度 ≥ 30 万像素，信号流处理速度不低于 30fps，对相关标准测试集的目标识别率 $\geq 95\%$ ；申请发明专利 ≥ 2 项。

1.12 变革性敏感原理、材料、工艺及传感器研究

研究内容：针对各类物理、化学、生物量传感器，学习自然界，紧跟领域学科前沿，从敏感原理、敏感材料、传感器设计与制造等方面进行突破，实现颠覆性的传感技术创新。

考核指标：相对于领域已有技术，在敏感原理、敏感材料、传感器结构或制造工艺上具有变革性创新，展示具有显著技术领先性的新型传感器。

2. 传感器敏感元件关键技术

2.1 病原微生物及疾病代谢标志物敏感元件及应用

研究内容：针对目前生物传感器制造均质性低、稳定性差、抗干扰能力弱的瓶颈问题，研究酶与膜材料的结合界面特性；研究新型酶/蛋白质生物敏感元件制造技术；研究融合酶生物传感器制造关键技术；研制病原微生物及疾病代谢标志物敏感元件，并在生物检测传感器制造领域应用验证。

考核指标：开发出 15 种以上酶/蛋白质生物敏感元件，响应时间 $\leq 20\text{s}$ ；建立敏感元件标准化制造工艺，批次酶活载量差异 $\leq 2\%$ ；敏感元件信号强度 $\geq 85\%$ @连续使用 15 天；基于生物传感器研制的便携式检测仪 ≥ 3 种，测量误差 $\leq 1.5\%$ ；获得医疗器械注册证 1 项，传感器销售量 ≥ 1000 套，检测仪销售量 ≥ 100 台。

2.2 新型低功耗、高选择性气敏元件及传感器

研究内容：针对现有气敏元件功耗大、选择性不高等共性问题，研究新型室温下高性能气敏材料，研究气敏元件原位表征方法，研究低功耗新型气敏元件的工作机制；研究敏感材料的 MEMS 集成工艺；研究气敏元件稳定性和选择性提升技术；研制低功耗、高选择性 MEMS 气体传感器，开展新能源车、大气环境监测等场景应用验证。

考核指标：MEMS 气体传感器检测下限： $\text{H}_2 \leq 5\text{ppm}$ ， $\text{NH}_3 \leq 1\text{ppm}$ ， $\text{NO}_2 \leq 10\text{ppb}$ ， $\text{H}_2\text{S} \leq 10\text{ppb}$ ；传感器响应时间 $\leq 30\text{s}$ ，功耗 $\leq 5\text{mW}$ ，选择性系数 ($R_{\text{目标}}/R_{\text{干扰}}$) ≥ 10 ，响应衰减 $\leq 5\%/年$ ；传感器销售量 ≥ 1 万只；申请发明专利 ≥ 2 项，制定技术标准 ≥ 2 项。

2.3 高性能高选择性离子敏元件及传感器

研究内容：针对离子敏元件灵敏度低、抗干扰能力弱等问题，研究新型离子敏感膜材料，研究表征固-液及固-固界面特性方法；研究离子敏传感器结构设计技术，研究批量制

备多通道微型离子敏传感器关键工艺；研究溶液中多种离子的检测方法和识别算法；研制多通道微型高性能高选择性离子敏传感器，开展环境水质、生化检测等应用验证。

考核指标：离子敏感膜选择性系数 ≥ 10 ；离子敏传感器具备在水质、体液等样品中多种离子的高灵敏度、高选择性检测，最低检出限 $\leq 10^{-7}\text{mol/L}$ ，线性范围 $10^{-7}\text{mol/L}\sim 10^{-1}\text{mol/L}$ ，多离子浓度测量时检测精度 $\leq 1\%$ ；传感器销售量 ≥ 1000 只；申请发明专利 ≥ 2 项，制定技术标准 ≥ 2 项。

2.4 微型高性能加速度敏感元件及传感器

研究内容：针对目前微型加速度传感器精度低和稳定性差等技术问题，研究加速度敏感元件高稳定力学模型，研究加速度敏感元件稳定性漂移抑制方法；研究敏感元件制造，集成封装和稳定性提升等关键技术；开发低噪声配套电路，研制微型化高性能加速度传感器，在航空航天航海等领域的惯性测量与导航开展应用验证。

考核指标： $\pm 3\text{g}$ 量程的加速度传感器：分辨力 $\leq 0.5\mu\text{g}$ ，零偏稳定性 $\leq 0.5\mu\text{g}$ ，标度因数稳定性 $\leq 0.5\text{ppm}$ ； $\pm 70\text{g}$ 量程的加速度传感器：分辨力 $\leq 1\mu\text{g}$ ，零偏稳定性 $\leq 1\mu\text{g}$ ，标度因数稳定性 $\leq 1\text{ppm}$ ；集成封装尺寸 $\leq 30\text{mm}\times 20\text{mm}$ ；传感器销售量 ≥ 2000 套；申请发明专利 ≥ 2 项，制定技术标准 ≥ 2 项。

2.5 微型高分辨力三轴加速度敏感元件及传感器

研究内容：针对目前加速度传感器无法同时满足高分辨率和高动态响应性能的问题，研究高分辨率和高动态响应的三轴加速度传感机制；研究宽动态范围加速度信号检测技术；研究加速度传感器集成技术；研制微型三轴加速度传感器，在机器人精密作业和高精度测量装备中开展应用验证。

考核指标：三轴加速度测量范围均在 10ng-1g 之间，传感器分辨力优于 10ng，传感器带宽 1Hz -500Hz，传感器尺寸 $\leq 50\text{mm}\times 50\text{mm}\times 50\text{mm}$ ，重量 $\leq 100\text{g}$ ；传感器销售量 ≥ 100 套；申请发明专利 ≥ 2 项，制定技术标准 ≥ 1 项。

2.6 高性能声音敏感元件及传感器

研究内容：针对声音敏感元件在小体积内实现高信噪比的共性技术难题，研究高性能声音敏感元件的结构设计方法；研究声音敏感元件的精准制造技术；研究声音敏感元件配套的 ASIC 设计技术；研制高性能声音敏感元件和硅麦克风传感器，在智能手机、降噪耳机或助听器领域应用验证。

考核指标：建立高性能声音敏感元件的精准制备技术体系；敏感元件平面面积 $\leq 1\text{mm}\times 1\text{mm}$ ；集成 ASIC 的硅麦克风传感器信噪比性能 $\geq 72\text{dB}$ ，最大声压级 $\geq 135\text{dB}$ ；传感器销售量 ≥ 500 万只；申请发明专利 ≥ 3 项，制定技术标准 ≥ 2 项。

2.7 高灵敏 MEMS 磁敏感元件及传感器

研究内容：针对小体积磁敏感元件多物理场耦合及增强

难题，研究高灵敏磁敏材料和敏感元件结构设计技术；研究磁敏元件灵敏度与线性度提升技术；研究磁敏感元件及传感器的 MEMS 制造技术；开发传感器低噪声信号调理 ASIC 电路，研制高灵敏磁敏感元件及传感器，在新能源汽车、电网等弱磁场探测领域开展应用验证。

考核指标：磁敏元件的磁场探测极限优于 300pT，低频磁噪声指数优于 100pT/Hz^{1/2}，线性度优于 1%；磁敏传感器平均故障间隔时间 ≥ 1000h；传感器销售量 ≥ 1 万只；申请发明专利 ≥ 2 项，制定技术标准 ≥ 1 项。

2.8 高性能激光气体传感器及应用

研究内容：针对我国激光气体传感器功耗大、集成度低、成品率低等技术难题，研究低功耗激光芯片设计制造技术，研究激光气体传感微型化组件技术；研究多气体交叉干扰抑制和防护等技术；研制高性能、微型化激光集成气体传感器，在新能源、煤矿、化工等行业开展应用验证。

考核指标：CO、CO₂、C₂H₄、H₂S 检测精度优于 ±(1ppm+真值 3%)，量程 0~1000ppm，交叉干扰 ≤ 10⁻⁶；激光器波长包含 4.2μm-10.5μm 波段多气体吸收谱线；功耗 ≤ 500mW，响应时间 ≤ 30s；激光气体传感组件通过相关行业安全认证，激光气体传感组件销售 ≥ 1 万只；申请发明专利 ≥ 3 项，制定技术标准 ≥ 2 项。

2.9 高性能 X 射线敏感元件及在线传感应用

研究内容：针对复杂精密工件内部结构和缺陷在线高精度快速检测困难的问题，研究 X 射线敏感的残影效应和辐射损伤改善方法；研究高分辨率 X 射线敏感元件设计技术，研制高分辨、高帧率的高性能 X 射线敏感元件；研究敏感元件高可靠封装、辐射防护、稳定性提升和高速图像传输等传感应用关键技术；研制高性能 X 射线传感器及工业 X 射线无损检测系统，在复杂型腔结构检测及尺寸测量、多膜层结构透视检测等领域应用验证。

考核指标：X 射线敏感元件的空间分辨率 $\geq 3.59\text{LP/mm}$ ，对比度分辨率 $\leq 0.5\%$ ，敏感元件辐射耐受寿命 $\geq 50000\text{Gy}$ ；成像面积 $\geq 210\text{mm}\times 210\text{mm}$ ，成像帧率 $\geq 30\text{fps}$ ，成像残影 $\leq 0.5\%$ ；销售数量 ≥ 200 套；申请发明专利 ≥ 2 项。

3. 面向行业的智能传感器及系统

3.1 深地探测极高灵敏度电磁传感器技术及深部探矿示范

研究内容：针对当前金属矿资源勘察中传感器探测深度、分辨率不足以及勘探准确度低等问题，研究高精度、高线性度宽频磁场/电磁传感器等新型传感器材料和工艺；研究高精度、高分辨率的电场、磁场和电磁场高端传感器设计制造技术与测试标定方法；研究新型传感器的抗干扰技术；研制核心部件国产化的高精度电场、磁场和电磁场高端传感器系列产品，开展找矿示范应用。

考核指标：电场传感器电极极差能 $\leq \pm 0.5\text{mV}$ ；磁场传感器噪声优于 $1\text{fT}/\text{Hz}^{1/2}@(\geq 20\text{Hz})$ ，频带宽度 $\geq 1\text{MHz}$ ；电磁场传感器噪声优于 $0.5\text{fT}/\text{Hz}^{1/2}@1000\text{Hz}$ ，带宽 $\geq 50\text{kHz}$ ；实现宽频带电场、磁场和电磁场的测量数据的反演功能；完成 2~3 处大深度金属矿勘探示范应用。

3.2 车载固态激光雷达关键技术及工程化研究

研究内容：针对现有机械旋转式激光雷达在成本、环境适应性、可靠性等方面难以满足规模化车载应用的问题，研究固态激光雷达窄线宽、高频率调制线性度的光源模块及集成化的多通道并行相干接收模块关键技术；研究高可靠大口径微振镜激光扫描和光束引导技术；研究车规级固态激光雷达规模化制造工艺；研制远距离、高测距精度、高分辨率车用固态激光雷达，并搭载自动驾驶汽车开展示范应用。

考核指标：固态激光雷达传感距离 $\geq 300\text{m}$ ，测距精度 $\leq 50\text{mm}$ ，测速精度 $\leq 0.1\text{m/s}$ ，帧率 $\geq 10\text{Hz}$ ，水平视场角 $\geq 120^\circ$ ，垂直视场角 $\geq 30^\circ$ ，角度分辨率 $\leq 0.05^\circ$ ；固态激光雷达环境适应性、可靠性通过车规级考核，建立满足不同等级自动驾驶汽车应用需求的激光雷达系统集成方案；申请发明专利 ≥ 10 项，车载激光雷达产品搭载应用车型 ≥ 2 款，销售数量 ≥ 1 万套。

3.3 汽车级高精度组合导航传感器系统开发及应用

研究内容：针对导航定位传感器不能满足汽车自动驾驶

高精度、低成本、高可靠和批量化要求的问题，研究惯性传感器芯片设计制造、ASIC 电路和封装测试等关键技术；研究惯性与卫星等组合导航模组设计技术、批量制造及快速标定技术、多传感器组合定位算法等关键技术；研制微型惯性传感器和组合导航传感器系统系列化产品，开展示范应用。

考核指标：建成微型组合导航传感器系统的设计及批量制造平台；组合导航系统姿态精度：横滚/俯仰（ 1σ ）优于 0.02° ，航向漂移（ 1σ ）优于 0.03° ；位置精度：组合定位精度优于 $2\text{cm}+1\text{ppm}$ ；惯性定位精度优于 0.1% （行程）；微惯性测量组合：陀螺仪（X/Y/Z 轴）量程 $300^\circ/\text{s}$ ，零偏稳定性（ 1σ ）优于 $1^\circ/\text{h}$ ，全温零偏误差（ 1σ ）优于 $0.01^\circ/\text{s}$ ；加速度传感器（X/Y/Z 轴）量程 10g ，零偏稳定性（ 1σ ）优于 0.05mg ，全温零偏误差（ 1σ ）优于 0.5mg ；微惯性测量组合体积 $\leq 10\text{cm}^3$ ；微型惯性传感器和组合导航传感器系统系列化产品满足 L3 及以上自动驾驶要求，通过车规认证和功能安全认证，应用车型 ≥ 3 款，销售数量 ≥ 5 万套。

3.4 特种钢生产关键参数在线检测传感技术及应用

研究内容：针对重大装备用钢铁材料从炼铁到成品工件生产工况恶劣、关键参数连续在线感知手段欠缺等问题，研究钢水温度在线检测传感器及其耐超高温连续稳定应用技术；研制高可靠炼铁、炼钢关键成分检测传感器，工件尺寸及表面缺陷检测传感器；研究恶劣环境下传感器及系统数据

可靠传输和产线集成等关键技术；开发重大装备用钢铁材料生产关键参数在线快速检测分析算法和系统，在高铁车轮钢材生产等领域开展应用。

考核指标：铁水、钢水温度检测传感器工作温度最高达到 1680°C，钢水温度原位连续检测时间 $\geq 15\text{min}$ ；线阵光学传感器可测炼铁、炼钢成分元素至少包括 Si、Mn、Cr、Ni、Ti、Fe、Cu、Al 等，谱线测试范围 190nm-500nm，重复性优于 10%@1%，关键成分在线传感分析系统工作温度大于 1300°C，响应时间 $\leq 1\text{min}$ ；运动工件外形尺寸及表面裂纹缺陷图像传感器分辨率优于 50 μm @（尺寸 $\geq 200\text{mm}\times 200\text{mm}$ ，被测工件温度范围 200°C~1100°C），图像传感系统测量精度 $\pm 3\text{mm}$ @3m \times 2.4m，采样间隔 $\leq 1\text{s}$ ；传感器及系统可靠性满足现场应用要求，形成重大装备用钢铁材料生产关键参数在线检测的成套解决方案；申请发明专利 ≥ 3 项，制定技术标准 ≥ 3 项。

4. 传感器研发支撑平台

4.1 8 英寸 MEMS 传感器加工中试平台

研究内容：针对高端 MEMS 传感器定制化加工需求，研究功能材料薄膜工艺、复合膜应力调控技术、晶圆级真空键合、异质集成等关键共性工艺技术，建立高性能 MEMS 加速度计、陀螺仪、压力传感器、红外传感器、硅基生物 MEMS 传感器等高端传感器的定制化加工成套工艺，形成标准工艺

设计工具包 (PDK), 为高端 MEMS 传感器客户提供定制化、规模化加工服务。

考核指标: 平台兼容 8 英寸 CMOS 与 MEMS 核心工艺; 具备整晶圆 ($\geq 700\mu\text{m}$) 硅通孔、多晶圆 (≥ 3 片) 键合和晶圆级真空键合能力, 键合对准精度 $\leq 0.5\mu\text{m}$, 真空晶圆键合腔内真空度 $\leq 1\text{mBar}$, 薄膜片内及片间均一度 $\leq 2\%$; 形成 5 套以上相应 PDK 和惯性传感器、压力传感器、光学传感器、生化传感器等关键产品工艺规程, 实现不少于 4 类传感器的小批量生产; 服务客户数 ≥ 300 家, 其中服务承担本专项敏感元件研制任务的客户数不少于 10 家。

4.2 MEMS 传感器批量制造及专用集成电路设计平台

研究内容: 针对国内 MEMS 传感器对批量制造平台和专用集成电路设计平台的迫切需求, 研究多种传感器敏感元件的成套制造工艺技术; 研究传感器专用集成电路设计技术; 研究传感器敏感元件与专用集成电路的一体化批量制造技术; 建立传感器标准化批量制造平台和专用集成电路设计平台, 开展批量制造代工服务。

考核指标: 批量制造平台具备硅麦克风、热电堆和温湿度等 3 种以上敏感元件成套工艺能力, 提供敏感元件制造和一体化批量制造的标准化设计规则, 建成 6000 片/月的批量生产能力; 专用集成电路设计平台形成传感器专用集成电路标准化设计规则, 提供 3 种以上传感器专用集成电路设计 IP

和产品服务；批量制造的多种传感器代工数量 ≥ 1000 万颗，一体化批量制造的传感器代工数量 ≥ 300 万颗；服务承担本专项敏感元件研制任务的客户数不少于5家。

4.3 高温传感器专用 ASIC 工艺平台开发

研究内容：针对高温传感器配套特殊应用集成电路（ASIC）制造难题，研究高温传感器 ASIC 设计、成套制造工艺、封装以及高温可靠性等关键技术；开发高温传感器 ASIC 工艺平台；研制高温压力传感器和加速度传感 ASIC 芯片，实现在高温传感器系统中的应用验证。

考核指标：建立高温传感器 ASIC 标准工艺器件模型库、高温单元库，高温传感器与专用电路的封装方法；金属电迁移可靠性寿命 ≥ 3 年@250°C，工艺控制成品率 $\geq 95\%$ ，月产能 ≥ 2000 片；ASIC 芯片工作温度 $\geq 250^\circ\text{C}$ ，温度系数小于 $1.5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ，数字转换精度 $\geq 12\text{bit}$ ；实现高温环境下压力、加速度传感器的一体化集成；高温 ASIC 芯片应用数量 ≥ 3 万只，高温传感器销售数量 ≥ 1 万只；申请发明专利 ≥ 2 项。

附件 11

“工业软件”重点专项 2021 年度项目申报指南建议

(征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“工业软件”重点专项。本重点专项的目标是：针对我国工业软件受制于人的重大问题以及制造强国建设的重大需求，系统布局产品生命周期核心软件、智能工厂技术与系统、产业协同技术与平台，贯通基础前沿、共性关键、平台系统及生态示范等环节。到 2025 年，引领现代制造业发展的新模式、新平台、新体系和新业态逐步形成，核心工业软件基本实现自主可控，基于工业互联网的工业软件平台及数字生态逐步形成，工业软件自主发展能力显著增强，推动制造业产业生态创新以及技术体系、生产模式、产业形态和价值链的重塑。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持问题导向、需求导向、分布实施、突出重点的原则，拟围绕制造业数字生态及基础前沿技术、产品生命周期核心软件、智能工厂技术与系统、产业协同技术与平台 4 个技术方向，启动 17 个指南任务。

1. 基础前沿技术

1.1 面向 OT 与 IT 融合的端边云互联集成理论与方法研

究

研究内容: 针对端边云部署工业应用系统面临大量异构设备接入、端边云协同困难等问题, 研究数据和模型驱动的分布式端边云互联集成模型, 构建标准化、平台化的端边云互联集成技术架构; 研究异构跨域通信映射模型及语义集成方法、端边云统一数据空间的制造资源信息建模与可重构方法等; 研究全互联、多场景的端边云资源调度方法及协同技术, 形成可配置的动态互联集成机制; 开展原理验证。

考核指标: 提出一种新型的支持 OT 与 IT 融合的端边云互联集成理论; 突破信息建模、资源调度和语义集成等新方法 ≥ 5 项; 研制信息模型配置、模型测试等基础软件工具或组件 ≥ 3 套; 研制云边端 OT 和 IT 融合集成测试验证系统 1 套, 在典型工业场景开展原理验证。

1.2 离散制造全流程工业数据智能理论与方法研究

研究内容: 针对离散制造中数据多源异构、流程复杂等问题, 研究基于多时空关联与场景感知交互的跨域推理和融合认知方法, 形成工业数据智能理论; 研究场景/知识/模型联动的时空演变数据重构/融合/关联/预测机理, 研发复杂离散工业企业决策模型, 实现企业动态智能管控与交互式决策; 研究制造智能体的知识自演化技术, 构建基于深度学习的跨平台模型描述/编译/调用的智能计算引擎。

考核指标: 建立离散制造全流程工业数据智能理论、方法和模型/构件库; 在典型企业开展方法与模型的原理验证; 申请发明专利或软件著作权 ≥ 10 项。

1.3 新一代工业物联网数据管理基础理论与技术研究

研究内容：针对工业物联网创新发展需求，研究端边云协同场景下海量数据采集、存储、查询、处理一体化基础理论，形成时效驱动、资源驱动、负载驱动的时序数据管理体系；研究工业物联网时序数据高鲁棒处理技术，形成工业时序数据的一致性、完整性、时效性、有效性等多维度数据质量画像；融入工业物联网数据管理开源软件生态。

考核指标：提出物联网时序数据管理理论模型；形成新型工业物联网时序数据库软件架构；支持面向时序数据时域、频域、区间、集合、采样等操作 ≥ 5 种；时序数据质量评价维度 ≥ 4 种；形成工业物联网时序数据库管理系统原型，单节点数据写入性能不低于2000万点/秒，读取性能不低于200万点/秒，通过国际TPCx-IoT标准测试认证。

1.4 嵌入域等几何 CAE 基础理论与方法研究

研究内容：研究复杂零部件CAD/CAE模型统一参数化表达方法；研究无网格离散一体化设计分析技术，数据/模型融合驱动的CAE分析技术；研发嵌入域等几何CAE分析内核、显示引擎及超高分辨率图像交互组件，实现众核CPU/GPU异构并行计算；开发国产三维CAE设计分析一体化软件原型，在航空航天、船舶、汽车等行业开展原型应用。

考核指标：形成国产三维CAE设计分析一体化软件原型1套；支持亿级单元规模的嵌入域等几何分析；支持不少于3种典型数据格式的无重构性能分析；在不少于3类行业中进行原型应用。

1.5 集团企业价值链数字生态理论研究

研究内容：针对集团型企业整合多制造基地构建生态价值链的需求，研究集团制造企业多基地价值链数字生态理论，突破制造企业多基地生态价值链模型及演化机理、网状拓扑组织结构、基于区块链的价值链运行、数据驱动的价值链优化、数据智能服务等方法和技术；构建集团制造企业多基地生态价值链应用场景，开展原理验证。

考核指标：形成集团制造企业多基地价值链数字生态理论；突破方法和技术 ≥ 3 类；研发生态价值链支撑构件 ≥ 10 个，获得软件著作权或申请发明专利 ≥ 10 项；在重大装备等离散制造企业得到验证，实现支撑集团企业多基地价值链的协同。

1.6 大规模制造产业网状结构价值链数字生态理论研究

研究内容：针对基于第三方平台构建网状结构生态价值链的需求，研究基于第三方平台的多价值链协同体系、网状结构价值链数字生态理论；突破网状结构价值链及数字生态模型及演化机理、网状拓扑组织结构、基于区块链的价值链运行、数据驱动的价值链优化、数据智能服务等方法和技术；基于第三方平台构建网状结构生态价值链应用场景，开展原理验证。

考核指标：建立基于第三方平台的网状结构价值链数字生态理论，突破方法和技术 ≥ 3 类，研发生态价值链支撑构件 ≥ 10 个，获得软件著作权或申请发明专利 ≥ 10 项，遴选汽车、家电等大规模制造的离散制造业，在第三方平台得到验证，

实现支撑网状结构的多价值链协同。

1.7 大规模制造产业可信溯源理论与方法研究

研究内容：针对大规模制造产业链全域标识数据异构多源、可信度低、实时追溯和协同共享难等问题，研究基于区块链的多源异构数据管理架构、协同共享模型和可信追溯机理；研究面向产业链全域数据溯源共识算法和成员敏感数据实时共享机制；研究大规模产品设计/制造/服务全生命周期数据协同共享和实时追溯方法；构建大规模制造产业可信高效溯源应用场景，开展原理验证。

考核指标：建立基于区块链的大规模制造产业可信溯源理论；突破前沿技术 ≥ 5 项；研发基于区块链的大规模产品数据协同管理和可信溯源支撑构件 ≥ 10 个；在电子信息、通信、汽车等行业开展原理验证；申请发明专利或软件著作权 ≥ 10 项，制定相关标准。

1.8 新一代现场级工业物联网融合组网与配置前沿技术研究

研究内容：针对现场级工业物联网对灵活、便捷接入及确定性低时延等需求，研究新一代现场级工业物联网有线与无线融合组网新技术与新方法；研究基于软件定义的现场级异构网络统一配置前沿技术；研究覆盖工业现场总线、TSN网络、工业无线网络、5G等异构网络协议互联互通与协同新方法；开发基于新一代现场级工业物联网融合的典型行业制造过程管控技术。

考核指标：提出至少5种主流工业有线网络与5G等2

种无线网络互联互通的统一配置新方法；满足工业现场端到端确定性时延抖动 $<1\text{ms}$ ，在钢铁生产、新能源汽车等场景中应用验证；申请相关专利 ≥ 10 项，提出相关国家或国际标准2项。

1.9 流程行业智能工厂数字安全一体化管控理论与方法研究

研究内容：针对流程行业工艺繁多、流程长、工序关联耦合等特点导致的工厂级综合安全管控困难等问题，研究攻击安全、故障安全、失效安全等多种安全机制协同和优化方法；研究基于智能工厂多源危险安全机理和关联特征的一体化风险模型；研究基于AR的工厂危险预知预警方法；研究多模态交叉融合的安全风险一体化管控理论方法；研制流程行业智能工厂安全一体化管控原型系统。

考核指标：开发功能安全与信息安全冲突消解和人机交互风险预知等技术 ≥ 8 项；研发安全一体化管控系统1套，满足功能安全完整性SIL2级，信息安全SL2级；申请发明专利 ≥ 10 项，制定相关标准，在典型行业开展验证。

1.10 数据驱动的制造过程闭环控制分析与优化方法研究

研究内容：面向航空、航天等复杂产品制造过程面临的提质增效重大挑战，研究数据驱动的制造过程闭环控制分析与优化方法，研究产品制造过程数字主线、多性能数据关联分析方法、多目标“预测-反应式”闭环调度方法等基础理论，开发“云边端”协同环境下的运维一体化制造过程优化系统，

在典型行业开展验证。

考核指标：提出数据驱动的制造过程闭环控制分析与优化方法，开发数字主线、关联分析、闭环调度等新技术 ≥ 5 项，开发“云边端”协同环境下的运维一体化制造过程优化原型系统1套；制定相关标准，申请发明专利 ≥ 10 项，在航空航天、能源石化等行业得到验证。

1.11 基于云边端协同的智能产线管控理论和方法研究

研究内容：面向离散行业的精密零件加工无人化、柔性化和智能化需求，研究基于云边端协同的智能产线管控理论和方法。研究基于5G网络的智能产线云边端协同管控系统架构；研究基于横纵向数据流的智能产线OPCUA信息建模和数据封装方法；研究基于视觉的智能产线零件加工质量在线感知新方法；研究基于云边端协同的智能产线精度控制、运行调度、能效优化等新技术。

考核指标：提出基于云边端协同的智能产线管控理论方法；开发智能产线信息建模和数据封装、零件加工质量感知等新技术 ≥ 3 项；研发1套云边端协同的智能产线管控原型系统；申请发明专利 ≥ 10 项；制定相关标准；在高端制造装备、航空航天等行业得到验证。

1.12 基于MEC的边缘控制与实时仿真基础理论与方法研究

研究内容：针对云端化工业软件部署的边缘侧功能分配等问题，研究基于MEC的边缘感知、分析、决策、控制等理论与方法。研究基于MEC的边缘侧行为级编程、基于产

品设计模型的工艺表征与在线规划、制造过程加工/装配工艺代码生成等方法；研究基于多学科联合与机器学习的轻量化仿真方法；构建适用于 MEC 边缘控制与实时仿真的数据集、算法库、工艺包与建模工具等。

考核指标：提出基于 MEC 的边缘控制与实时仿真理论；开发基于 MEC 的边缘控制与实时仿真工具和软件构件≥30 项，实现机器人运动轨迹、机床 NC 代码的自动生成；申请发明专利≥15 项；制定相关标准；在典型行业开展验证。

2. 共性关键技术

2.1 离散行业工业互联网操作系统核心组件研发与应用

研究内容：针对离散制造行业的工业互联网操作系统的接入资源种类多、数据量大和应用场景多的问题，研究面向设备、产品和服务全要素资源接入技术；研究基于大数据与知识深度迁移的异构系统大数据空间共享融通技术；研究基于虚拟仿真时空一致性和多任务调度的双场景驱动工业引擎技术；研制离散制造行业工业互联网操作系统的核心组件，开展应用验证。

考核指标：研制操作系统核心组件，含接口协议库、大数据湖、工业引擎和场景化机理模型库等；提供≥10 个资源接入模型和≥20 种接口协议，≥10 种异构数据和 10 万节点的集成与管理能力；提供操作系统原型样机，在离散行业的设计和制造等场景开展验证；制定国家/行业标准（草案）≥3 项。

2.2 大型工程机械装备设计/制造/运维一体化平台研发

与应用

研究内容：针对复杂施工环境重大工程对大型工程机械装备提出的适应性难题，研究产品设计/制造/运维一体化发展模式；研发基于模型的定制化匹配设计技术及系统，供应链多维度动态协同、智能柔性排产等技术，数据与知识驱动的装备状态监测、故障诊断、性能预测、地质风险预警、远程服务等技术；研发产品设计/制造/运维一体化平台并开展应用验证。

考核指标：建立基于模型的产品设计/制造/运维一体化平台，在3类以上大型工程机械装备研制和复杂施工环境的重大工程建设中进行应用，为重大工程中使用的150台套以上大型工程机械装备提供服务；制定相关标准。

2.3 大规模制造产业工业互联网平台研发与应用

研究内容：针对产业链供应链强链稳链需求，探索以平台为支撑、核心产品为服务载体的产业生态构建机制；研究大规模制造模式下产业链多主体间风险预警、智能决策、资源精准对接等关键技术；研发大规模制造模式下产业生态化协同要素交互模型和资源自组织算法，形成场景智能适配的产业链资源共享工业APP组件库；研发大规模制造产业工业互联网平台并开展应用。

考核指标：建立支持跨域增值、多维生态协同的大规模制造产业工业互联网平台，制定相关标准，在家电电子、汽车制造等行业开展应用，支持产业链协作的企业 ≥ 500 家，提升供应链重塑响应速度 $\geq 20\%$ 。

2.4 个性化定制产业工业互联网平台研发与应用

研究内容：针对个性化定制产业链各环节交互协同密切、产品运维实时性高等难题，研究产品设计、生产、管理、运维统一数据模型、数据开放互联机制等；研究个性化定制产品生命周期全域价值链纵横协同机制和工业机理模型、价值拉动的生态资源重构技术；研发个性化定制产业生态的构建、评估、优化、演进、运行和管控等技术和各业务环节服务组件；研发个性化定制产业工业互联网平台，并开展应用验证。

考核指标：建立基于模型、跨系统业务流程融合的个性化定制产业工业互联网平台，制定相关标准，实现支持产业链协作的企业累计 ≥ 100 家。

2.5 分布式工厂工业互联网平台研发与应用

研究内容：针对分布式工厂间生产资源互联、生产协同执行与质量高效管控等需求，研究分布式工厂协同生产及工业互联网机理和基于 MBSE 的异地协同生产执行、数据驱动的产线运行透明管控、面向生产拉动的智能物流配送、基于数字主线的全产业质量预测与控制等关键技术；研发分布式工厂工业互联网平台并开展应用。

考核指标：建立分布式工厂工业互联网平台，制定相关标准，在民用飞机制造等企业进行应用验证，实现与 50 家以上企业间生产计划、资源使用等协同。

“高性能制造技术与重大装备”重点专项

2021 年度项目申报指南建议

(征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“高性能制造技术与重大装备”重点专项。本重点专项的总体目标是：围绕国家战略产业高端产品及重大工程关键装备在复杂环境、复杂工况下高性能可靠服役需求，突破高性能制造前沿基础理论和共性关键技术，研制具有高精度、高可靠、高效率、智能化、绿色化等高性能特征的基础件、基础制造工艺及装备等，实施重大装备的集成示范应用，推动制造技术向材料-结构-功能一体化的高性能设计制造转变，实现高性能制造技术和重大装备的自主可控，增强我国战略性高端产品和重大工程关键装备的核心竞争力。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持“需求牵引、整机带动、分步实施、重点突出”的原则，拟围绕高性能制造的基础前沿技术、共性关键技术、重大装备应用示范 3 个技术方向，启动 18 个指南任务。

1. 基础前沿技术

1.1 重大装备设计基础前沿

研究内容：研究性能/功能驱动的复杂装备机-电-液-智耦合设计理论与方法、材料-结构-组织-表界面一体化的高性能构件设计模型与方法、极端环境和复杂工况服役关键特性参数的表征与评价等重大装备及关键构件的设计新原理、新方法。

考核指标：形成典型高性能重大装备设计模型、理论与方法，并开发具有自主知识产权的设计软件和原理样机/系统，完成相关成果的技术验证，并在典型高性能重大装备或高性能构件的形性一体化设计中实现验证；明确发明专利等知识产权数量。

1.2 高性能基础件基础前沿

研究内容：面向轴承、齿轮、液压元件等基础件高性能服役需求，研究极端工况下接触界面动力学理论及服役性能调控方法、材料-结构-功能一体化的设计制造理论和方法、极端条件下的服役性能先进测试理论与方法等，为新型高性能基础件研发提供支持。

考核指标：形成典型高性能基础件的创新设计、制造、测试等基础理论、方法和支持工具，开发具有自主知识产权的新型基础件原理样件或装置，在典型高性能基础件制造中实现验证；明确发明专利等知识产权数量。

1.3 高性能制造工艺基础前沿

研究内容：研究高性能制造过程中的加工、成形、表面改性、焊接、装配等新原理与技术，重点突破难加工材料构件的高效精密加工、复杂结构形性协同成形、大差异异质材料高可靠连接/高强度焊接等新工艺。

考核指标：形成高性能加工、成形、表面改性、焊接、装配等创新理论方法，研发具有自主知识产权的制造新工艺，在典型关键零部件的高性能制造中实现验证；明确发明专利等知识产权数量。

2. 共性关键技术

2.1 耐高温抗腐蚀传动系统轴承

研究内容：研究轴承高温、腐蚀环境适配性设计方法；突破轴承自润滑与供油润滑技术、轴承高功率密度适应性技术、轴承高精度及长寿命关键技术、轴承性能及寿命试验验证技术等；研发耐高温、抗腐蚀环境传动系统轴承，建设基于工业性验证平台的轴承性能试验平台。

考核指标：研制耐高温抗腐蚀环境轴承，实现高速（ $\geq 20000\text{r/min}$ ）、重载（ $\geq 10\text{kN}$ ）状态下，轴承接触应力 $\leq 2500\text{MPa}$ ，轴承正常运行工作温度达到 300°C ，轴承 $d_m N$ 值 $\geq 2.3 \times 10^6\text{mm}\cdot\text{r/min}$ 。在 pH 值 3.5 ± 0.5 的酸性、盐雾环境下，轴承耐腐蚀等级达到 7 级以上。轴承的首翻期寿命 1800h，总寿命 3600h；技术成熟度达到 7 级以上，在重型无人机等领域得到应用验证。制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2

项，申请发明专利 ≥ 3 项。

2.2 深海高可靠耐腐蚀齿轮箱

研究内容：突破深海装备齿轮箱可靠性及减振降噪设计、关键构件形性可控制造、基于深海环境的齿轮箱温压差等多物理场耦合、开放环境下防腐与密封、智能故障诊断及健康监测等关键技术，搭建深海装备齿轮箱模拟环境试验平台，研制深海装备齿轮箱。

考核指标：齿轮箱传动功率达到兆瓦级；设计寿命 ≥ 25 年、可靠度 $\geq 98.5\%$ ，空气噪声 $\leq 95\text{dB}$ ；齿轮箱抗腐蚀防护达到海洋腐蚀环境级（C5-M），密封耐压水深 $\geq 200\text{m}$ ，防腐及密封设计大修寿命 ≥ 5 年；深海环境综合模拟试验平台可满足兆瓦齿轮箱满负荷试验，具备模拟 200~300 米水深耐压、密封、浸泡等试验能力；开发齿轮箱智能在线监测系统，故障识别率 $\geq 80\%$ ；技术成熟度达到 7 级以上，在深海勘探开采装备上得到应用验证。制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项，申请发明专利 ≥ 3 项。

2.3 内曲线低速大扭矩液压马达

研究内容：研究内曲线马达低速重载摩擦副的油膜承载特性、界面轮廓形貌设计方法、马达低速稳定性机理等，突破高效率配油系统设计、摩擦副材料及表面功能改性、内凸轮廓曲线轮廓精密加工等关键技术，开发界面参数评价与测试设备，研制内曲线低速大扭矩液压马达。

考核指标：内曲线低速大扭矩液压马达排量 5~20L/r；额定压力 28~35MPa；转速范围 0.5~100r/min；扭矩 15000~75000N·m；总效率 $\geq 85\%$ ；噪声 $\leq 77\text{dB}$ ；耐久性 $\geq 1500\text{h}$ ，且马达容积效率下降不超过 4%。技术成熟度达到 7 级以上，在大型舰船、掘进机等装备中得到应用验证。制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项，申请发明专利 ≥ 3 项。

2.4 航空液压系统高性能密封件

研究内容：研究航空液压系统高性能密封件材料与性能评价技术与标准；突破高性能密封-主机系统协同设计、密封件高形状精度与高质量表面加工、可靠性评价等关键技术；搭建极端工况拟实基础试验平台；研发密封件生产过程典型工艺绿色化技术及装备；研制航空作动器、起落架等液压系统高性能密封件。

考核指标：航空液压系统高性能密封件工作压力 21~35MPa，工作温度 $-60^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，工作寿命 $\geq 3000\text{h}$ ，泄漏率 $\leq 0.2\text{mL}/1000$ 次往复循环；航空高性能密封系统设计软件 1 套；试验平台：最大工作压力 $\geq 56\text{MPa}$ 、最大往复速度 $\geq 15\text{m/s}$ ，工作温度 $-70^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 。技术成熟度达到 7 级以上，在航空液压系统中实现应用验证。制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项，申请发明专利 ≥ 3 项。

2.5 高速列车传动系统综合试验平台

研究内容：突破高速列车轮轨关系模拟、牵引动力能量

回馈、实车线路运行工况全参数模拟等技术，研发高速列车传动系统拟实综合试验平台；研究转向架用轴箱轴承、齿轮箱轴承、牵引电机轴承等高铁轴承综合试验方法及评价体系。突破高铁轴承试验大样本数据采集、分析与故障诊断、基于大数据的高铁轴承建模与优化设计等关键技术，模拟实车线路运行工况开展高铁轴承耐久性试验。

考核指标：建成 400km/h 速度级的高速列车传动系统综合试验平台，能量回馈技术节约试验能耗 80%以上，实现运行工况全参数模拟，替代检测实车路试考核，考核周期缩短 15 倍以上（不超过 8 个月）；完成不少于 15 种高铁轴承耐久性试验；制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项，申请发明专利 ≥ 3 项。

2.6 高强极薄铜箔制造成套技术

研究内容：研究高性能铜箔微纳组织结构与性能关联关系及其调控机理；突破极薄铜箔电沉积、高抗拉高挠曲纳米孪晶组织极薄生箔制备、铜箔超低轮廓高剥离微粗化、硅烷偶联化表面处理、镀液成分监控、铜箔性能检测评价等全流程精准控制关键技术，研制极薄铜箔制造装备，制备极薄高性能铜箔。

考核指标：研制高性能铜箔制备成套装备，阴极辊直径 $\geq 2.7\text{m}$ ，铜箔宽幅 $\geq 1.35\text{m}$ ；极薄铜箔厚度 $\leq 4.5\mu\text{m}$ ，粗糙度 $\leq R_z 1.3\mu\text{m}$ ，面密度均匀性 $\pm 1\text{g}/\text{m}^2$ 以内，重量重复性 $\geq 97\%$ ；抗拉

强度 $\geq 460\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 4.5\%$ ，剥离强度 $\geq 1.2\text{N/mm}$ 。技术成熟度达到 7 级以上，在通信、新能源等领域应用验证。申请发明专利 ≥ 3 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项。

2.7 大型薄壁铝合金整体构件精确成形技术

研究内容：研究大型网格筋薄壁整体构件复合成形原理，突破多级网格筋成形几何连续性、成形精度控制、跨尺度组织性能均匀调控等关键技术，研制测量-规划-成形一体化制造技术与成套装备。

考核指标：研制大型薄壁构件精确成形装备，实现多级网格筋整体构件精确近净成形；筒体构件直径 $\geq 2000\text{mm}$ ，径厚比 ≥ 400 ，筋高壁厚比 ≥ 2 ，轮廓精度 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内；抗拉强度 $\geq 430\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 7\%$ ；与传统制造构件相比结构重量降低 10%以上，制造周期缩短 40%以上；技术成熟度达到 7 级以上，在运载火箭、空间站等应用验证；申请发明专利 ≥ 5 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 3 项。

2.8 超大规格 H 型钢高性能热轧成形技术

研究内容：构建超大规格 H 型钢的异形坯连铸、冷却控制、轧制规程、孔型设计等全流程生产工艺模型；突破温度场-应力场-应变场耦合作用的形性一体化调控技术；研制超大规格 H 型钢的连铸、轧制及精整成套装备。

考核指标：研制超大规格 H 型钢高效率热轧成套装备及控制系统，轧机轧制力 ≥ 3000 吨，生产效率提高 20%以上；

实现高度 1200~1600mm、宽度 300~500mm、屈服强度 420MPa 级的超大规格 H 型钢产品一体化成形；产品高度偏差 $\pm 0.5\%$ 以内，宽度偏差 $\pm 1.2\%$ 以内，弯曲度 \leq 长度的 1/1000；技术成熟度达到 7 级以上，在重要桥梁施工中应用验证；申请发明专利 ≥ 10 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项。

2.9 大尺寸钛合金结构高强韧焊接技术

研究内容：研究低熔蚀钛合金焊料原位合成机理，突破大尺寸钛合金结构焊接界面强韧化调控、界面温度自适应调控技术，研制大尺寸钛合金结构高可靠高效焊接装备。

考核指标：研制钛合金构件焊接设备，有效区尺寸 $\geq 1200\text{mm} \times 800\text{mm} \times 800\text{mm}$ ，温度控制精度 $\pm 3^\circ\text{C}$ 以内；焊接构件尺寸 $\geq 1000\text{mm} \times 600\text{mm} \times 400\text{mm}$ ，且焊后变形 $\leq 1\text{mm/m}$ ，脆化层厚度 $\leq 50\mu\text{m}$ ；结构耐压强度 $\geq 4\text{MPa}$ ，焊缝 450°C 高温强度不低于母材 80%；与传统工艺相比制造周期缩减 60%以上；技术成熟度达到 7 级以上，在重型舰船等应用验证；申请发明专利 ≥ 8 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 3 项。

2.10 冷冻砂型绿色铸造技术

研究内容：研究水基冷冻砂型复合成形机理及宏微尺度精准控制机制、水粘接剂低温喷射渗透和沉积固化多参数耦合机理；突破冷冻砂型浇冒口及浇道优化设计、冷冻砂型加工精度闭环控制及补偿、高温熔体和冷冻砂型界面瞬态热流

传导、大温度梯度下凝固组织转变和多尺度协调控制等关键技术；研制数字化冷冻砂型绿色成形装备。

考核指标：研制数字化冷冻砂型加工成形装备，有效成形尺寸 $\geq 1000\text{mm}\times 800\text{mm}\times 600\text{mm}$ ，重复定位精度 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内；冷冻砂型水加入量 $\leq 5.0\text{wt.}\%$ （水与砂型重量的百分比），冷冻温度 $\leq -25^\circ\text{C}$ ，砂型透气性达到 70，砂型抗拉强度 $\geq 0.8\text{MPa}$ ，抗压强度 $\geq 1.8\text{MPa}$ ，发气量 $\leq 18\text{mL/g}$ ；与传统砂型铸造相比，铸件性能提高 8%以上，有机粘接剂/固化剂含量降低 70%以上，型砂直接回收率 $\geq 90\%$ 。技术成熟度达到 7 级，在大型柴油发动机上实现应用验证；制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项，申请发明专利 ≥ 5 项。

2.11 Micro-LED 用新型 MOCVD 技术

研究内容：研究新型 MOCVD 设备的腔体设计、流场结构和外延生长机理，突破加热器温场均匀性提升以及实时调控、LED 外延片表面低颗粒度的硬件结构设计等关键技术，开发新型基于模型的温度控制系统、片盒到片盒传输的自动化取放片系统，研制大尺寸衬底上 Micro-LED 量产的高可靠性 MOCVD 外延设备。

考核指标：研制 Micro-LED 量产的高可靠性 MOCVD 外延设备，腔体控温范围 $450^\circ\text{C}\sim 1200^\circ\text{C}$ ，温度控制精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以内。设备能实现片盒到片盒传输取放片，平均开腔(PM)炉次 ≥ 50 炉次，设备稼动率 $\geq 90\%$ 。研制 6 英寸蓝宝石或硅衬底

上氮化镓基 Micro-LED 外延生长工艺及装备，实现 100mm×100mm 方片波长均匀性 (1σ) $\leq 0.6\text{nm}$ ，炉间波长均匀性 (1σ) $\leq 0.8\text{nm}$ ，颗粒度 ≤ 0.3 颗/cm² (颗粒尺寸 $\geq 0.3\mu\text{m}$ ，边缘去边 3mm)。技术成熟度达到 7 级以上，实现客户端生产应用；制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项，申请发明专利 ≥ 5 项。

3. 重大装备应用示范

3.1 深远海船舶大推力全回转推进器设计制造关键技术与装备

研究内容：研究深远海船舶大推力全回转推进器服役性能演变规律与设计方法；突破大推力全回转推进器高精度电液控制、变截面厚壁导流管多能场复合焊接控形控性、大型桨叶加工高表面完整性调控、伞齿轮高性能加工等关键技术；研发大推力全回转推进器高质高效大型导流管焊接、桨叶加工工艺与装备；自主研制大推力全回转推进器。

考核指标：导流管焊接总体变形量 $\leq 1.5\%$ ，接头强度系数 ≥ 0.9 ，桨叶疲劳寿命提高 30% 以上，桨叶-导管间隙 $\leq 0.5\%$ ；导流管焊接装备焊接速度 $\geq 1.5\text{m/min}$ ，桨叶加工装备铣削面型精度 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内，伞齿轮加工精度达到 ISO 4 级以上。研制 6000kW 功率级别及以上的船舶大推力全回转推进器，在深远海钻井平台、特种救援船或极地船舶等示范应用，推力 ≥ 65 吨，伞齿轮主传动效率 $\geq 95\%$ ，转舵控制精度 $\pm 1^\circ$ 以内，

转舵速度 $\geq 180^\circ/12s$ ，设计寿命 ≥ 20 年。申请发明专利 ≥ 10 项、软件著作权 ≥ 5 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 3 项。

3.2 深水海底钻井系统关键技术与装备

研究内容：研究深水海底钻井系统集成设计与布局优化方法，开展深水海底钻井系统总体方案、永磁电动钻具结构创新设计；突破钻井系统海底模块快速安装、下放回收、精准定位、紧急脱离等关键技术；研发深水海底钻井系统集成控制软件，研制深水海底钻井系统装备。

考核指标：深水海底钻井装备一套，设计工作水深 $\geq 1200m$ ，设计钻井深度 $\geq 400m$ ，井眼直径 $\geq 127mm$ ，海底目标井位定位误差 $\leq 1m$ ，永磁直驱电动钻具额定输出扭矩 $\geq 4000N\cdot m$ ；连续工作时长 $\geq 30h$ ；在海上工程示范应用；申请发明专利 ≥ 4 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项。

3.3 千米竖井硬岩全断面掘进机关键技术与装备

研究内容：研究深部地层岩体原位精细化探测与岩性识别方法、大体积硬岩高效机械破碎机理；突破竖井岩石-泥浆-压缩空气多相流垂直排渣、高效掘进与支护协同等关键技术；开发集中控制的撑靴与悬吊系统、新型破岩刀具与刀盘；研制千米竖井硬岩全断面掘进机装备。

考核指标：研制竖井全断面掘进机装备，适用于岩石抗压强度 $80\sim 150MPa$ ，承压 $\geq 10MPa$ ，掘进速度 $\geq 4m/天$ ；研制

高强度耐久性新型刀盘，连续工作进尺 $> 200\text{m}$ ；主轴 MTBF $\geq 15000\text{h}$ ；悬吊系统深度 $> 1000\text{m}$ ，重量 $> 1000\text{t}$ ；岩石破碎和垂直排渣速度 $> 25\text{m}^3/\text{h}$ 。在千米硬岩竖井工程示范应用，竖井深度 $\geq 1000\text{m}$ ，直径 $6\sim 12\text{m}$ ；申请发明专利 ≥ 5 项，制定相关团体、行业或国家技术标准 ≥ 2 项。

3.4 第三代半导体高性能碳化硅单晶制备和外延工艺及成套装备

研究内容：建立大尺寸反应室热力学和动力学模型，突破高温真空低漏率、耐高温耐腐蚀材料及老化特性、中频热场精确控制和扩径生长、膜厚及表面形貌的高精度实时监控等关键技术，研制反应室及加热、大尺寸高效能碳化硅单晶生长、碳化硅高性能外延生长等关键装备，实现 6 英寸碳化硅单晶生长和外延装备的国产化和批量应用，推动第三代半导体产业发展。

考核指标：6 英寸半绝缘碳化硅单晶生长装备：最高温度 $\geq 2400^\circ\text{C}$ ，控温精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内；控压精度 $\pm 1\%$ 以内；单晶生长速率 $\geq 1\text{cm}/100\text{h}$ ，单位能耗 $\leq 3500\text{kW}\cdot\text{h}/\text{kg}$ 。6 英寸碳化硅外延装备：最高温度 $\geq 1700^\circ\text{C}$ ，控温精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内，温度不均匀性 $\leq 2^\circ\text{C}$ ，漏率 $\leq 1.0^{-9}\text{mbar}\cdot\text{L}/\text{s}$ ；平均无故障工作时间 $\geq 1000\text{h}$ ，平均修复时间 $\leq 8\text{h}$ ；衬底表面粗糙度 $\leq \text{Ra } 0.2\text{nm}$ ，外延片掺杂浓度不均匀性 $\leq 3\%$ ，最高生长速率 $\geq 50\mu\text{m}/\text{h}$ ，表面形貌缺陷密度 ≤ 0.5 个/ cm^2 。技术成熟度达到 8 级以上；申请

发明专利 ≥ 10 项，制定装备相关标准 ≥ 4 项；形成在 5G 通信、新能源汽车、空间抗辐射等领域应用 ≥ 10 台套。

“先进结构与复合材料”重点专项

2021年度项目申报指南建议

(征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“先进结构与复合材料”重点专项。本重点专项总体目标是：面向制造强国、交通强国、航天强国建设等国家重大需求部署先进结构与复合材料研发任务，形成国产材料体系化自主研制和保障能力，实现航空发动机、重载火箭、国产大飞机、核电工程装备、深海油气资源开采等国家大型工程急需的关键结构与复合材料的国内自主供给。

根据本重点专项工作部署，现提出2021年度项目申报指南建议。2021年度指南部署遵循“基础研究、共性关键技术、典型应用示范”全链条创新设计、一体化组织实施原则，拟围绕高性能高分子材料及其复合材料、高温与特种金属结构材料、轻质高强金属及其复合材料、先进结构陶瓷与陶瓷基复合材料、先进工程结构材料、结构材料制备加工与评价新技术、基于材料基因工程的结构与复合材料7个技术方向，启动46个指南任务。

1. 高性能高分子材料及其复合材料

1.1 高性能全芳香族纤维系列化与规模化制备关键技术 (共性关键技术)

研究内容：针对航空航天、武器装备等亟需的高强高韧结构材料应用需求，开展高性能全芳香族纤维制备关键技术及其应用研究。揭示大分子刚性链结构、纤维纺丝成型、凝聚态及其性能之间的内在规律，攻克全芳香族纤维制备共性科学问题；研究高强/高模芳纶纤维成型和热处理工艺，突破制备关键制备技术及成套装备；研究高伸长耐高温芳纶 III 纤维、芳纶纸及其蜂窝应用技术；探讨高性能液晶纺丝聚芳酯聚合物结构设计、固态缩聚反应动力学和纤维冷却成型机理，攻克聚芳酯纤维制备关键技术。

考核指标：对位芳纶：高强型纤维强度 ≥ 23 cN/dtex、模量 ≥ 580 cN/dtex、建成产能 4000 吨/年的生产示范线，高模型纤维强度 ≥ 21 cN/dtex、模量 ≥ 850 cN/dtex、建成产能 3000 吨/年的生产示范线；芳纶 III 纤维强度 ≥ 28 cN/dtex、模量 ≥ 800 cN/dtex、伸长率 $\geq 3.0\%$ ，芳纶 III 纸纵向抗张强度 ≥ 1.8 KN/m、拉伸模量 ≥ 2000 MPa，芳纶 III 蜂窝 250°C 强度保持率 $\geq 60\%$ ；聚芳酯纤维：纤维单丝纤度 ≤ 5 dtex，强度 ≥ 25 cN/dtex，最大纤维强度 ≥ 30 cN/dtex，模量 ≥ 500 cN/dtex，最大模量 ≥ 650 cN/dtex，极限氧指数 $\geq 29\%$ ，建成产能 200 吨/年的生产示范线。

1.2 吸音蜂窝复合材料及在商用航空发动机上的应用

（典型应用示范）

研究内容：针对商用航空发动机降噪和减重的迫切需求，开展声学隔膜材料研制和制膜工艺研究、吸音芳纶蜂窝高效制备技术和自动化装备研究、组元体系（预浸料、蜂窝、声

学膜、胶膜等)匹配研究、发动机短舱复合材料消音结构声学设计研究、复合材料消音结构高效成型和制孔研究及消音结构检测评估研究,突破吸音蜂窝复合材料及应用的关键技术,形成材料和工艺规范,完成在典型短舱消音结构上的应用验证。

技术指标: 声学膜: 声阻抗 30~300rayl (厚度 0.05~2.00mm); 吸音蜂窝: 密度不低于 48kg/m³、公差±8%, 孔格尺寸 9.6mm, 公差±8%, 稳定压缩强度≥1.72MPa, L 方向剪切强度≥1.07MPa, W 方向剪切强度≥0.58MPa, 滚筒剥离强度≥13 N·mm/mm, 声学膜植入效率达到 8 个/分; 短舱结构: 消音微孔孔径公差±0.2mm, 孔间距公差±0.4, 制孔速度不低于 12 个/min; 短舱产品: 通过发动机试车验证, 与原结构相比降噪≥1.6dB, 减重≥15%。

1.3 面向高端应用的阻燃高分子材料关键技术开发 (共性关键技术)

研究内容: 面向 5G 通讯和轨道交通等高端制造业的需求, 形成一批具有国际领先水平和自主知识产权的合成树脂材料及应用技术。重点开发 PCB 的高阻燃、高 T_g、低介电性能的环氧树脂; 热塑性弹性体 TPE 专用无卤膨胀阻燃技术及应用; 反应型硅磷阻燃剂制备及其在聚碳酸酯、聚脲弹性体应用开发; 研发本征阻燃不熔滴聚酯和反应型阻燃尼龙 66 工程化制备及其应用, 完成规模化生产与应用示范。

考核指标: 各种材料的阻燃达到 UL94V-0, 其中 PCB 材料, D_k < 4.0, D_f < 0.008, T_g > 170°C; 聚烯烃弹性体断裂伸

长率 $\geq 400\%$ ；聚碳酸酯阻燃等级 UL94 5VA(厚度 1.5mm)，建成百吨级聚脲弹性体生产线，阻燃 LOI $\geq 28\%$ ，断裂伸长率 $\geq 350\%$ ；本征阻燃聚酯 Tg $\geq 85^\circ\text{C}$ ，拉伸强度 $\geq 85\text{MPa}$ ，炭化不熔滴；本征阻燃尼龙 66 阻燃单体 $< 4\%$ ，拉伸强度 $\geq 60\text{MPa}$ ，LOI $> 30\%$ 。

1.4 低成本生物基工程塑料的制备与产业化（共性关键技术）

研究内容：面向生物基高分子材料成本高和高性能工程塑料牌号少的问题，集中开发低成本生物基呋喃二甲酸（FDCA）、异山梨糖醇的制备技术；开发 1,4-环己烷二甲醇（CHDM）的国产化制备技术，基于新型单体开发生物基聚酯 PEF、PCF 和 PETG 等三类高性能聚酯，从单体、聚合物到后端应用全链条研究。精细调控产品结构，研究产品的耐高温性能、力学性能、阻隔性能等，开发不低于 10 种高性能聚酯产品，并在下游得到应用。

考核指标：呋喃二甲酸的产品纯度 $\geq 99.5\%$ ，吨级成本低于 2 万元，完成千吨级中试示范；CHDM 纯度 $\geq 99.9\%$ ；PEF 的力学强度 $\geq 75\text{MPa}$ ，玻璃化转变温度 $\geq 80^\circ\text{C}$ ，建立万吨级产业化生产线。基于 CHDM 开发低成本 PCF、PETG 以及与呋喃二甲酸的生物基聚酯，产品的成本低于 2 万元/吨，拉伸强度 $\geq 80\text{MPa}$ ，拉伸模量 $\geq 2.5\text{GPa}$ 。开发不低于 6 个牌号的新产品，实现聚酯的千吨级稳定生产。

2. 高温与特种金属结构材料

2.1 低成本高纯粉末高温合金研制及应用（共性关键技

术)

研究内容: 针对先进商用航空发动机关键热端承力转动部件高使用温度、长服役寿命、低制造成本的要求, 研究新一代高纯、低成本氩气雾化粉末高温合金及其制备技术, 发展合金成分优化、纯净氩气雾化制粉、返回料粗粉循环利用、高纯净粉末处理、全封闭真空等温锻造等新方法, 突破高温合金纯净熔炼及成分调控、返回料重熔和纯净度控制、氩气雾化粉末氧含量控制、全真空封闭等温锻造等关键制备技术, 掌握粉末纯净度、返回料粗粉再利用、氧含量等对粉末高温合金组织和性能的影响规律, 研制出具有高强抗蠕变损伤容限特征且满足使用要求的粉末高温合金涡轮盘工程试验件。

考核指标: 高温合金粗粉末(粒径 $>53\mu\text{m}$)返回料添加比例 $\geq 30\%$, 细于 $53\mu\text{m}$ 粉末收得率 $\geq 70\%$; 氩气雾化粉末非金属夹杂物 ≤ 10 颗/kg, 粉末高温合金氧含量 $\leq 100\text{ppm}$; 制备的锻件直径 $\geq 600\text{mm}$, 锻件超声检验缺陷灵敏度 $\leq \Phi 0.4-15\text{dB}$, 锻件 830°C 抗拉强度 $\geq 940\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 830\text{MPa}$ 、 $830^\circ\text{C}/330\text{MPa}/50\text{h}$ 蠕变残余应变 $\leq 0.2\%$; 低成本粉末高温合金 650°C 抗拉强度 $\geq 1400\text{MPa}$ 、屈服强度 $910-1110\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 12\%$, $700^\circ\text{C}/690\text{MPa}/68\text{h}$ 蠕变残余应变 $\leq 0.2\%$, $650^\circ\text{C}/R_t=0.05/\Delta\varepsilon_t=0.008$ 低周疲劳周次 >5000 ; 建成年产800吨的低成本高纯度高温合金粉末示范线。

2.2 高温合金纯净化与难变形薄壁异形锻件制备技术

(共性关键技术)

研究内容: 针对国产高温合金冶金质量差、材料综合利

用率低、力学性能波动大等问题，研究镍基高温合金纯净熔炼、返回料处理和再利用技术，返回料与全新料混合重熔工艺；开发难变形高温合金成分优化及纯净熔炼、铸锭均匀化热处理、合金铸锭均质开坯、棒料细晶锻制、大型薄壁异形环形件整体制备等工艺技术，建立合金工艺与成分、组织和性能的影响关系，实现高温合金棒材和锻件组织均匀性和性能一致性的优化控制，完成合金制备工艺、材料与构件质量评估及在先进能源动力装备的考核验证。

考核指标：按照 40%以上的添加比例与全新料混合熔炼后，母合金铸锭化学成分和力学性能达到全新料水平，高温合金 O、N、S 总含量 $\leq 30\text{ppm}$ 、45 种痕量元素总含量 $\leq 200\text{ppm}$ ；环形锻件晶粒度 4 级或更细，各部位极差不超过 2 级；锻件环向不同位置硬度差值 $\leq 28\text{HB}$ ，不同批次锻件之间硬度差值 $\leq 42\text{HB}$ ；锻件室温拉伸强度 $\geq 1210\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 15\%$ ， 760°C 拉伸强度 $\geq 850\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 25\%$ ， $730^\circ\text{C}/550\text{MPa}$ 持久时间 ≥ 23 小时；精密异形环锻件外径尺寸 1500~2500mm、高度 700~1000mm、壁厚 25~70mm，材料利用率较现有技术提升 30%以上。

2.3 高品质 TiAl 合金粉末制备及增材制造关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对电子束增材制造所需的低氧含量球形 TiAl 合金粉末，研究铝元素挥发、粉末球形度差、空心粉高问题，突破工业化生产球形 TiAl 合金粉末和工业化 TiAl 构件增材制造关键技术；开展增材制造 TiAl 合金的材料-工艺-

组织-缺陷-性能一体化系统研究及典型服役性能测试，突破构件增材制造工艺及性能控制关键技术，掌握包括材料、工艺、组织调控、性能特征及典型应用，为新一代航空发动机高温关键构件制造及工业化应用提供技术支撑。

考核指标：粉末指标：粉末粒度 $45\mu\text{m}\sim 105\mu\text{m}$ ，收得率 $\geq 40\%$ ，粉末氧含量 $\leq 0.075\text{wt}\%$ ，粉末流动性 $\leq 35\text{s}/50\text{g}$ ；成形件指标：室温抗拉强度 $\geq 600\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 1.5\%$ ， 650°C 抗拉强度 $\geq 500\text{MPa}$ ， 650°C 高周疲劳强度 (σ_{-1} , $K_t=1$, $N=1\times 10^7$) $\geq 300\text{MPa}$ ， 650°C 持久强度 ($\sigma_{100\text{h}}$) $\geq 250\text{MPa}$ 。

2.4 630-650°C超超临界汽轮机用关键耐热材料与部件研制（共性关键技术）

研究内容：针对 630°C 和 650°C 超超临界国家示范工程汽轮机转子和高温气缸需求，研究 630°C 超超临界汽轮机转子用新型马氏体耐热钢成分、40吨级钢锭高纯均质冶炼技术、基于物理冶金原理的热成型和热处理技术；研究 650°C 超超临界汽轮机转子和气缸用新型镍基耐热合金成分、1~20吨级合金锭高纯均质冶炼技术、基于物理冶金原理的热成型和热处理技术；研究上述新型耐热材料的高温长时组织稳定性及其主要影响因素；研究上述新型耐热材料的抗蒸汽腐蚀性能及其主要影响因素。

考核指标：由40吨级钢锭制造的新型马氏体耐热钢转子锻件按ASME规范 630°C 外推10万小时持久强度不低于 100Mpa ，抗蒸汽腐蚀性能与FB2相当；由12~20吨级合金锭制造的新型镍基耐热合金转子锻件和高温气缸按ASME

规范 650°C外推 10 万小时持久强度不低于 100MPa，抗蒸汽腐蚀性能与 In617 相当；上述新型耐热材料及其部件制造技术形成自主知识产权。

2.5 光热发电用耐高温熔盐特种合金研制与应用（典型应用示范）

研究内容：针对太阳能光热发电产业低成本高效发电可持续发展需求，以下一代低成本高效超临界二氧化碳光热发电系统中耐高温氯化物混合熔盐特种金属材料及其制造技术为研究对象，研究耐高温不锈钢、高温合金板材及其焊接界面在高温氯化物、硝酸盐中的腐蚀机理和服役寿命预测技术，研究满足氯化物和硝酸盐熔盐发电系统用的耐高温不锈钢、高温合金板材成分和组织设计及其批量制造技术，开发耐高温熔盐不锈钢、高温合金成型和焊接行为及其先进制备技术，发展高温合金长寿命高吸收率吸热涂层，实现高性能不锈钢、高温合金产品开发及应用示范。

考核指标：耐高温不锈钢、高温合金板材耐熔盐腐蚀性能达到国际先进水平（满足行业标准要求），不锈钢在 800°C氯化物、600°C硝酸盐中的腐蚀速率 < 0.1mpy，高温合金在 800°C氯化物、600°C硝酸盐中的腐蚀速率 < 0.05mpy；形成耐高温氯化物熔盐的不锈钢和高温合金设计与板材先进制造技术，高温合金板材涂层吸收率 > 0.96；形成万吨级以上耐高温熔盐不锈钢板材、百吨级耐高温熔盐高温合金板材研发和生产能力，在光热发电系统中获得示范应用。

2.6 海洋工程及船用高端铜合金材料（共性关键技术）

研究内容：针对舰船和海洋装备泵体、管路及阀门等耐腐蚀性差、服役寿命短、高端材料依靠进口的问题，研究海洋工程及船用新型高性能铜合金材料设计、成分-组织-工艺内禀关系、腐蚀行为及耐蚀机理，开发耐高流速海水冲刷型铜合金承压铸件制备、超大口径耐蚀铜合金管材加工及管附件成形、海洋油气开采用高耐磨高耐蚀铜合金管棒材加工及热处理组织性能调控等高质量低成本工业化制造技术，开展产品应用技术研究，实现高端铜合金典型产品示范应用。

考核指标：耐高流速海水冲刷铜合金铸件室温抗拉强度 $\geq 500\text{MPa}$ 、断后伸长率 $\geq 16\%$ ， 5m/s 海水冲刷腐蚀速率 $\leq 0.05\text{mm/年}$ ；超大口径耐蚀铜合金管材及管附件最大外径 $\geq 500\text{mm}$ ，室温抗拉强度 $\geq 350\text{MPa}$ 、断后伸长率 $\geq 30\%$ ， 3.5m/s 海水冲刷腐蚀速率 $\leq 0.20\text{mm/年}$ ；高耐磨高耐蚀铜合金管材室温抗拉强度 $\geq 1100\text{MPa}$ 、断后伸长率 $\geq 3\%$ 、HRC硬度 ≥ 34 ，相同腐蚀试验条件下均匀腐蚀速率不高于进口 C72900 材料水平；形成铸件 500 吨/年、管材及管附件 5000 吨/年的工业化规模生产能力。

3. 轻质高强金属及其复合材料

3.1 苛刻环境能源井钻采用高性能钛合金管材研究开发及应用（典型应用示范）

研究内容：针对我国油气、可燃冰等能源钻采高耐蚀和轻量化的紧迫需求，研究苛刻环境下高强韧耐蚀钛合金多相组织强韧化、抗疲劳机理，以及高温、高压、腐蚀、疲劳等服役环境下材料失效机理；建立服役环境适应性材料设计方

法及油气井钻采用钛合金钻杆、油套管服役性能评价方法；开发高性能大规格钛合金无缝管材成套工艺技术及关键应用技术；制定专用标准规范，开展苛刻服役条件下应用研究，实现工业化规模稳定生产，在典型应用场景实现示范应用。

考核指标：钛合金油套管最大直径/厚度/长度 $\geq\phi 270\text{mm}/15\text{mm}/10\text{m}$ ，钻杆最大直径/厚度/长度 $\geq\phi 140\text{mm}/10\text{mm}/8\text{m}$ ；屈服强度 $\geq 900\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 12\%$ 、冲击功 $A_{kv}\geq 50\text{J}$ ；钻杆全尺寸实物弯曲疲劳寿命 $\geq 10^7$ 次；环境条件下（ 160°C 、 Cl^- 离子浓度大于 $1.2\times 10^5\text{ppm}$ 、 H_2S 分压达到 3MPa 、 CO_2 分压达到 5MPa ），均匀腐蚀速率不高于 0.025mm/a ，不产生点蚀、应力腐蚀开裂和缝隙腐蚀；钛合金耐磨涂层实物的工况磨损率 $< 10\%/100\text{h}$ ；完成3种以上典型规格高强韧耐蚀钛合金管材的全尺寸实物验证试验；连接螺纹结构满足石油天然气工业特种管材技术规范要求；形成标准和技术规范2项以上；实现2种以上典型工况的现场示范应用。

3.2 船艇与深远海工程耐蚀可焊中高强铝合金（典型应用示范）

研究内容：针对现代舰船、海洋工程及先进轨道交通等重大工程面临的复杂海洋、大气腐蚀环境中多种损伤载荷问题，研发铝合金复合微合金化技术，通过与铝基体电极电位匹配的超常稳定弥散相强化，实现均衡界面、有序结构为组织特征的新型耐蚀抗损伤铝合金，开展船用耐蚀铝合金全生命周期环境负荷评估，设计开发出具有我国自主知识产权

的耐蚀可焊铝合金宽幅板、带筋壁板、低环境负荷等新型铝合金关键技术，促进传统铝合金工业技术进步，实现替代进口及后续自主技术创新，满足重大工程应用的迫切需求。

考核指标：耐剥落腐蚀均 EA 级以上；长期接触海水耐蚀可焊高强板材宽度 $\geq 2000\text{mm}$ 、屈服强度 $\geq 300\text{MPa}$ 、焊接系数 0.7、抗疲劳裂纹扩展速率 $da/dN \leq 2 \times 10^{-3}\text{mm/cyc}$ 、碳排放比船用 5083 合金减少 10%、建设 10000 吨/年生产线、在船舶等应用；长期接触海水整体挤压壁板宽度 $\geq 1600\text{mm}$ 、屈服强度 $\geq 200\text{MPa}$ 、焊接系数 0.8、抗疲劳裂纹扩展速率 $da/dN \leq 2 \times 10^{-3}\text{mm/cyc}$ ；超高强耐蚀大规格结构件外径 $\geq 350\text{mm}$ 、屈服强度 $\geq 500\text{MPa}$ 、焊接系数 0.7；高强耐蚀铝合金，屈服强度 $\geq 350\text{MPa}$ 、焊接系数 0.8、疲劳强度 $\geq 200\text{MPa}$ 、建设 10000 吨/年生产线，应用于海洋平台等。

3.3 先进铝合金高效加工及高综合性能研究（共性关键技术）

研究内容：针对飞行器、船舶以及汽车等提速减重、绿色制造的迫切需求，开展以铸代锻、整体成型、短流程、低排放的高效加工技术研究，研发高综合性能的先进铝合金材料；开展先进铝合金材料综合性能评价及加工技术效能评价，形成铸锻一体成型的新型高综合性能铝合金高效加工技术，将铸造、增材制造等铝合金提升到变形铝合金强度水平。

考核指标：铸锻一体成型高强铝合金屈服强度 $> 350\text{MPa}$ 、延伸率 $> 6\%$ 、碳排放比 A356 合金减少 10%，建设 10000 吨/年生产线，示范应用于汽车、通讯等；高强传动连接铝合金

材料，抗拉强度 $\geq 450\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 400\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 8\%$ 、疲劳强度 $\geq 300\text{MPa}$ 、焊接系数达到 0.85、满足高强传动连接部件需求、建设 10000 吨/年生产线、示范应用于汽车等；核电超高强铝合金管材外径 150mm、壁厚 3.5mm、抗拉强度 $\geq 650\text{MPa}$ 、满足应用要求；高强铝合金增材制造产品屈服强度 $\geq 400\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 6\%$ 、疲劳强度 $\geq 200\text{MPa}$ 、建立 1000 吨/年生产线。

3.4 高性能镁合金大型铸/锻件成形与应用（共性关键技术）

研究内容：针对商用车、高速列车、航空航天等领域的轻量化紧迫需求，探索热-力耦合条件下大容积镁合金凝固与形变过程中成分-组织-性能演变规律与调控技术，开发适合于大型铸/锻件的高性能镁合金材料；研究大型镁合金铸/锻件组织均匀化与缺陷调控机理，开发高致密度铸造成形技术、大体积熔体清洁传输及半连续铸造技术、挤锻复合一体成形技术；开展大型承载件的结构设计、产品制造、腐蚀防护及使役性能评价等技术研究，并实现示范验证与规模化应用。

考核指标：开发 1 类既适合铸造又适合锻造的高性能镁合金材料，压铸件实体抗拉强度 $\geq 300\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 180\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 8\%$ 、最大投影面积 $\geq 1\text{m}^2$ ；锻件实体主变形方向抗拉强度 $\geq 470\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 350\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 10\%$ ，其余方向抗拉强度 $\geq 420\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 8\%$ ，长度 $\geq 1.2\text{m}$ ，最大重量 $\geq 350\text{kg}$ ；大型压铸件内部孔隙率低于 3%，大锻件探伤质量优于 A 级；大型铸锻件表面处理后耐中性盐雾腐蚀 $\geq 2000\text{h}$ ，膜层均匀性

±5μm；实现 2 种以上大型镁合金铸/锻件在商用卡车、高速列车等上的考核验证和示范应用，形成镁合金大型铸/锻件 20 万件/年的工业化规模生产能力。

3.5 新型结构功能一体化镁合金变形加工材制造技术 (共性关键技术)

研究内容：针对航空航天、轨道交通、能源采掘、电子通信等重大装备升级换代的紧迫需求，研究新型强化相对镁合金力学性能与功能特性的协同调控机理，发展新型结构功能一体化镁合金材料与新型非对称加工技术，开发大规格高强阻尼镁合金环件、宽幅阻燃镁合金型材、高强可溶镁合金管材、高强电磁屏蔽/高导热镁合金板材的工业化制造成套技术及关键应用技术，并实现典型示范应用。

考核指标：高强阻尼镁合金环件直径≥3000mm、抗拉强度≥420MPa、延伸率≥6%、比阻尼系数≥20%，阻燃镁合金型材宽度≥450mm、抗拉强度≥310MPa、延伸率≥10%、燃点≥800℃，高强可溶镁合金管材抗拉强度≥450MPa、延伸率≥5%、溶解速率≥60mg/(cm²·h)，高强电磁屏蔽/高导热镁合金板材宽度≥800mm、抗拉强度≥350MPa、延伸率≥8%、屏蔽效能≥80dB/热导率≥125W/(m·K)，形成结构功能一体化镁合金变形材 15000 吨/年和新型可溶镁合金加工材 5000 吨/年的工业化规模生产能力，实现 3 种以上结构功能一体化镁合金材料在航空航天、轨道交通、能源采掘、电子通信等重大装备上的示范应用。

3.6 极端环境特种服役构件用构型化金属基复合材料

（典型应用示范）

研究内容：针对航空航天特种服役构件用耐热高强韧钛基复合材料以及岛礁建设与隧道掘进等重大工程用高耐磨陶瓷颗粒增强钢铁基复合材料，探索其材料体系-复合构型设计-复合技术-宏微观性能耦合机制与协同精确控制机理，开发跨尺度分级复合构型的定位控制、界面效应与组织精确调控、性能及质量稳定性控制、低成本批量制备等产业化关键技术，开展特种服役性能评价、全寿命预测评估与应用技术研究，建立相关标准规范，实现其稳定化生产与应用示范。

考核指标：耐热、高强韧构型化钛基复合材料室温抗拉强度 $\geq 1200\text{MPa}$ 、伸长率 $\geq 7\%$ ， 700°C 持久时间较基体钛合金提高 30 倍以上， 750°C 抗拉强度 $\geq 500\text{MPa}$ ；高耐磨构型设计钢铁基复合材料的基体材料抗拉强度 $\geq 900\text{MPa}$ 、硬度 $\text{HRC}\geq 60$ 、冲击韧性 $\geq 10\text{J}/\text{cm}^2$ ，复合层厚度 5~100mm 可调，使用寿命较相应基体提高 3 倍以上，复合构件重量规格可覆盖 10~10000 公斤、壁厚规格可覆盖 10~300mm，项目实施期间产值超过 10 亿；开发出极端环境特种服役构件用构型化金属基复合材料典型产品的工业化制造成套技术与装备，并在飞行器耐热/承载关重件以及岛礁建设与隧道掘进等重大工程用耐磨构件上实现批量示范应用。

3.7 高端装备用高强轻质、高强高导金属层状复合材料研制及应用（典型应用示范）

研究内容：针对高速列车、先进飞机、防护车辆等高端装备轻量化、高性能化的迫切需求，研究高性能多层铝合金

板材、铜包铝合金等层状复合材料界面结构与复合机理，探索应用人工智能、大数据等前沿技术优化界面调控的理论与方法，阐明铝合金复合板材的叠层结构、复合界面、陶瓷颗粒第二相等在高应变速率下抵抗冲击的作用机理；开发防护车辆、特种装备等用抗冲击多层高强铝合金复合板材的工业化制造成套技术及复合板材的性能评价等关键应用技术；开发高速列车、航空航天、电力电器等高端装备用铜包铝合金复合材料短流程高效工业化生产成套技术及多场景应用关键技术，制定专用标准规范，实现在高端装备上的示范应用。

考核指标：多层铝合金复合板材抗拉强度 $\geq 580\text{MPa}$ ，规定塑性延伸强度 $\geq 530\text{MPa}$ ，断后伸长率 $\geq 8\%$ ，界面剪切强度 $\geq 90\text{MPa}$ ，高应变速率下（ $5.0 \times 10^3/\text{s}$ ）的抗冲击强度比 7A52 铝合金板材提高 30%以上，形成多层铝合金复合板材 1 万吨/年的工业化规模生产能力。铜包铝合金加工态抗拉强度 $\geq 350\text{MPa}$ 、断后伸长率 $\geq 3\%$ ，退火态抗拉强度 $\geq 220\text{MPa}$ ，断后伸长率 $\geq 20\%$ ，界面剪切强度 $\geq 50\text{MPa}$ ，电导率 $\geq 66\% \text{IACS}$ ，形成铜包铝合金复合材料产品 2 万吨/年的工业化规模生产能力。

4. 先进结构陶瓷与陶瓷基复合材料

4.1 光刻机高端装备用精密结构陶瓷部件研制与应用

（共性关键技术）

研究内容：针对光刻机高端装备对精密结构陶瓷材料的应用需求，研究大尺寸复杂形状精密结构陶瓷部件的近净尺寸成型（形）与低应力微变形高温烧结技术；开发大尺寸复

杂形状结构陶瓷部件的高可靠连接与高精度加工技术；实现光刻机等高端装备用大尺寸复杂形状结构陶瓷典型部件的研制与应用示范。

考核指标：实现光刻机用大尺寸运动工件台陶瓷部件、大行程陶瓷导轨部件、高精密多孔陶瓷真空吸盘的研制与应用示范；运动工件台陶瓷部件尺寸 $\geq 2\text{m} \times 1.4\text{m}$ ，平面度 $\leq 5\mu\text{m}$ ；陶瓷导轨部件长度 $\geq 2.5\text{m}$ ，直线度 $\leq 5\mu\text{m}$ ；真空吸盘部件直径 $\geq 400\text{mm}$ ，孔隙率 35~45%，平均孔径尺寸 2~3 μm ；建立研制平台，具备小批量生产能力，在 2 台光刻机中实现精密陶瓷部件的“全国产化”集成应用。

4.2 400km/h 高速列车用碳陶（C/C-SiC）制动盘及配对闸片关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对 400km/h 高速列车应用需求，研究高导热高强韧性碳陶（C/C-SiC）复合材料制动盘承载与摩擦功能一体化设计及其近尺寸制备技术；开发碳陶制动盘与钢质车轮/盘毂高温紧固连接技术；开发碳陶制动盘配对闸片材料配方及闸片结构与制备技术；开展碳陶制动盘及其配对闸片 1:1 台架试验及其失效评价方法研究，建立 400~450km/h 高速列车碳陶制动盘及配对闸片的技术标准。

考核指标：碳陶复合材料密度 $\leq 2.5\text{g/cm}^3$ ，抗压强度 $\geq 180\text{MPa}$ ，抗弯强度 $\geq 120\text{MPa}$ ，可抗 25g 时速 600km/h 石头冲击。碳陶制动盘满足《动车组制动盘暂行技术条件》（TJ/CL310-2014）要求，轮盘（外径 750mm、盘厚 46.5mm） $\leq 45\text{Kg}$ ，轴盘（外径 640mm、盘厚 80mm） $\leq 35\text{Kg}$ ，比钢盘

减重 60%以上; 闸片满足《动车组闸片暂行技术条件》(TJ/CL 307-2019) 要求, 磨耗量 $\leq 0.35 \text{ cm}^3/\text{MJ}$; 碳陶制动盘与配对闸片的使用寿命比目前高铁使用的制动盘/闸片提高 30%以上。初速度 400km/h 时, 紧急制动距离 $\leq 10500\text{m}$, 摩擦系数 ≥ 0.32 , 制动盘表面平均温度 $\leq 900^\circ\text{C}$; 满足我国 400~450km/h 高速列车装车使用要求, 形成 10000 套/年批量化生产供应能力。

4.3 高端合金制造及钢铁冶金用关键结构陶瓷材料开发及应用 (典型应用示范)

研究内容: 面向冶金产业提升的发展需求, 研究高端合金制造及钢铁新技术领域用关键结构陶瓷材料组分设计与制备技术, 开发高品质高温合金制备用结构陶瓷材料、冶金领域用高效节能硼化锆陶瓷电极、薄带连铸用结构功能一体化陶瓷材料的规模化生产工艺, 开展应用评价技术研究, 建立规模化生产线, 研制关键生产设备, 制定制备及检测标准。

关键指标: 高品质高温合金制备用结构陶瓷的应用使高温合金纯净度达到国际领先水平, 与同类普通材料相比, 关键性能指标上提高 50%以上 (含), 使用寿命提高 30%以上 (含); 高效节能硼化锆陶瓷电极的常温弯曲强度 $\geq 300\text{MPa}$, 耐 2000°C 高温氧化, 电阻率 $15\sim 200\mu\Omega\cdot\text{cm}$, 连续使用寿命 1 年以上, 节电效率 $\geq 15\%$; 陶瓷侧封材料热导率 $\leq 20\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 热膨胀系数 $\leq 3\times 10^{-6}/\text{K}$, 使用温度 $\geq 1800^\circ\text{C}$, 常温弯曲强度 $\geq 150\text{MPa}$, 高温 ($1400^\circ\text{C}/0.5\text{h}$) 弯曲强度 $\geq 30\text{MPa}$, 杨氏模量 $\geq 70\text{GPa}$, 表面加工精度不低于 $\pm 1\mu\text{m}$, 总体使用寿命 6 小时

以上，实现稳定高效批量化制备。

4.4 低面密度空间轻量化碳化硅光学-结构一体化构件制备（基础研究）

研究内容：针对空间遥感光学系统的应用需求，研究低面密度空间轻量化碳化硅光学-结构一体化构件的结构拓扑设计，开展复杂形状碳化硅构件的增材制造等新技术、新工艺研究，开发低面密度复杂形状碳化硅构件的近净尺寸成型与致密化烧结技术，开展低面密度碳化硅空间轻量化碳化硅光学-结构一体化构件的光学加工与环境模拟试验研究，实现满足空间遥感光学成像要求的低面密度碳化硅光学-结构一体化构件材料制备。

考核指标：碳化硅陶瓷材料开口气孔率 $\leq 0.5\%$ ，弹性模量 $\geq 350\text{GPa}$ ，弯曲强度 $\geq 350\text{MPa}$ ，热膨胀系数 $2.1\pm 0.15\cdot 10^{-6}/\text{K}$ （@ $-50\sim 50^\circ\text{C}$ ），热导率 $\geq 160\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ；光学-结构一体化构件尺寸 $\geq 500\text{mm}$ ，面密度 $\leq 25\text{kg}/\text{m}^2$ ，表面粗糙度 $R_a\leq 1\text{nm}$ ，面形精度 $\text{RMS}\leq \lambda/40$ （ $\lambda=632.8\text{nm}$ ）， $500\sim 800\text{nm}$ 可见光波段平均反射率 $\geq 96\%$ ， $3\sim 5\mu\text{m}$ 和 $8\sim 12\mu\text{m}$ 红外波段平均反射率 $\geq 97\%$ ；通过空间成像光学系统环境模拟试验考核（包含时效稳定性、热真空、力学振动等试验，面形精度 $\text{RMS}\leq \lambda/40$ ）。

4.5 高性能硅氧基纤维及制品的结构设计与产业化关键技术（典型应用示范）

研究内容：针对高效隔热防护服、高强芯片、高保真通讯电缆等对高性能硅氧基纤维及制品的应用需求，研究硅氧前驱体化学组成、结构重组、多级微纳结构演变对纤维成型

的影响规律，突破硅氧基无机制品高温均匀化熔制技术，开发高强玻璃纤维；研究前驱体分子缩聚和纳米/微米多级孔组装结构演变对孔结构形成的影响规律，突破多孔玻璃纤维常温挤出成型技术，开发低介电、低热导、轻质柔性玻璃纤维；研究微重力、高真空环境下玄武岩材料熔制技术及深空环境对纤维成型的作用机制，开发高性能玄武岩纤维；开展高性能玻璃纤维及制品产业化示范，形成千吨级生产线；开发极端环境的模块化玄武岩纤维成型装置，实现微重力下自主成纤和近地轨道中试。

考核指标：高强度玻璃纤维：纤维单丝强度 ≥ 4.6 GPa，浸胶纱强度 ≥ 3.2 GPa，模量 ≥ 82 GPa，热膨胀系数 $\leq 5.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，中空纤维率 $\leq 10 \times 10^{-6}$ 。深空玄武岩纤维：微重力(< 0.3 g)、低压(< 1 kPa)下制备玄武岩纤维强度 ≥ 2.0 GPa，模量 ≥ 90 GPa，实现近地空间中试。低介电、低热导、轻质柔性玻璃纤维制品：介电常数 < 2.0 ，介电损耗正切 $< 8 \times 10^{-4}$ ，热导率 < 0.026 W/(m.K)，密度 < 0.5 g/cm³。建成1条千吨级/年军民两用高性能玻璃纤维及制品生产线，设计建造1套极端环境玄武岩纤维模块化装备自动实验装置，实现应用示范。

5. 先进工程结构材料

5.1 川藏铁路用长寿化轨道用钢研制与应用（典型应用示范）

研究内容：针对川藏铁路重点工程对轨道关键零部件使用寿命的重大需求，研究川藏铁路复杂服役条件下铁路轨道（包括钢轨和辙叉）磨损、腐蚀和疲劳破坏机理及性能退变

规律；研发长寿命高强度钢轨新钢种及制造关键技术；研发长寿命辙叉用新钢种及制造关键技术；研发新型辙叉制造关键技术；研发新型高强度钢轨间及其与新型辙叉间焊接关键技术；开展应用与评价体系研究，编制产品标准和应用设计规范。

考核指标：钢轨新产品抗拉强度 $\geq 980\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 12\%$ 、 -40°C 低温断裂韧性 $\geq 35\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$ ，与现有 U71Mn 热轧钢轨相比，相对耐蚀性提高 50%以上，滚动接触疲劳寿命提高 30%以上。新型辙叉钢抗拉强度 $\geq 950\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 450\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 50\%$ 、室温 $A_{ku}\geq 200\text{J}$ 、 -40°C 下 $A_{ku}\geq 118\text{J}$ ，新型辙叉钢的耐磨性能、耐潮湿环境腐蚀性能和抗疲劳性能比普通铸造高锰钢均提高 50%以上。钢轨间焊接接头性能满足 TB/T 1632.1-2014 标准要求；钢轨与辙叉间焊接接头满足实际使用要求。研制新技术、新产品 4 项，申请发明专利 10 件以上，编制相关标准或技术规范 2 项以上，实现钢轨和辙叉示范应用 2 项以上。

5.2 川藏铁路桥梁用大吨位碳纤维复合材料拉索（共性关键技术）

研究内容：针对川藏高原铁路桥梁建设对高性能与长寿命拉索的需求，研发耐严酷环境与抗疲劳的拉索用碳纤维复合材料体系，开展大吨位、自监测碳纤维复合材料拉索的索体设计方法与制备技术研究；研发大吨位、长寿命与高锚具效率的碳纤维复合材料索体的锚固体系；研究大吨位碳纤维复合材料拉索关键服役性能（包括抗疲劳、耐久、抗冲击、

抗火等)的评价与控制方法;开展碳纤维复合材料拉索用于悬索桥吊杆、斜拉桥拉索或预应力筋混凝土梁等工程结构的应用技术体系研究,开展工程示范应用。

考核指标:形成川藏高原铁路桥梁用 1000 吨级以上大吨位碳纤维复合材料索体与配套锚固体系的设计方法与制备技术;碳纤维复合材料拉索满足 1000 小时冻融循环与湿热老化后疲劳循环 200 万次要求,以及循环次数为 50 次的周期荷载试验要求;自监测技术监测服役碳纤维复合材料拉索的全长应变演化,测点长度分布密度 $\leq 1\text{m}$,应变精度 $\leq 10\mu\epsilon$;锚固体系的锚具效率系数 ≥ 0.9 ;川藏高原恶劣环境下碳纤维复合材料索体及锚固体系的服役寿命预期超过 50 年;编制碳纤维复合材料拉索产品标准 1 部,索体性能评价方法的规范或标准 1 部;申请发明专利 10 件以上;实现碳纤维复合材料拉索工程示范应用 1 项。

5.3 川藏铁路复杂环境结构混凝土关键材料与应用(典型应用示范)

研究内容:针对川藏铁路复杂环境对高性能结构混凝土的需求,研究高围岩等级隧道单层衬砌混凝土和高地热、大温差环境下二次衬砌机制砂混凝土收缩开裂机理,大温差、强紫外、低湿干燥环境下桥梁混凝土长期变形性能;开发川藏铁路工程混凝土专用低热硅酸盐水泥,隧道混凝土用速凝早强材料、水化温升调控材料与原位增韧材料等,及桥梁混凝土用基体减缩材料与表层防护材料等;研究结构混凝土裂缝控制成套技术,建立相关标准规范,实现工程示范应用。

考核指标：川藏铁路专用低热水泥熟料 $C_2S \geq 40\%$ ，3d 水化热 $\leq 220 \text{kJ/kg}$ ，28d 抗折强度 $\geq 8.0 \text{MPa}$ ，28d 干燥收缩率 $\leq 0.08\%$ ；隧道单层衬砌混凝土 6h 抗压强度 $\geq 10 \text{MPa}$ ，24h 抗压强度 $\geq 20 \text{MPa}$ ，28d 干燥收缩率 $\leq 0.02\%$ ，喷射回弹率 $\leq 10\%$ ； 30°C 下 24h 水化热降低率 $\geq 50\%$ ，隧道二次衬砌混凝土水化温升降低 $\geq 15\%$ ，收缩率降低 $\geq 50\%$ ，基体拉压比提升 $\geq 30\%$ ，不开裂保证率 $\geq 95\%$ ；桥梁混凝土 90d 徐变度 $\leq 20 \times 10^{-6} / \text{MPa}$ ，7d 干燥收缩率 $\leq 0.01\%$ ，28d 干燥收缩率 $\leq 0.025\%$ ，表层防护材料导热系数 $\leq 0.04 \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，太阳光反射率 $\geq 93\%$ ，水蒸气透过率 $\leq 0.2 \text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ；研制新技术、新产品 5 项，申请发明专利 20 件以上，编制相关标准或技术规范 3 项以上。

5.4 海洋建筑结构用耐蚀钢及防护技术（共性关键技术）

研究内容：针对海洋建筑结构对长寿命钢铁材料的需求，研究高盐雾、高湿热、强辐射、高 Cl⁻ 等严酷海洋环境下钢铁结构材料的失效机理；开展免维护海洋结构用低合金耐蚀钢板及复合钢板的成分设计及制备技术研究；开展防腐涂层设计与制备技术、钢板与涂层耦合耐蚀机理研究；研究低成本耐蚀钢筋母材与覆层协同耐蚀机制与制备技术；开展耐蚀钢连接技术研究；建立复杂海洋环境钢材及构件的服役评价及全寿命周期预测方法。

考核指标：海洋结构用钢 $R_{el} \geq 345 \text{MPa}$ ， $R_m \geq 490 \text{MPa}$ ， $A \geq 20\%$ ， $-20^\circ\text{C AKv} \geq 100 \text{J}$ ，钢板防护涂层主要指标应高于 GB/T 18593 要求 20% 以上，满足不同环境下 30 年免维护要求；耐蚀钢筋 $R_{el} \geq 500 \text{MPa}$ ，均匀延伸率 $A_{gt} \geq 7.5\%$ ，典型海

水海砂环境下耐蚀性能较传统钢筋提升 6 倍以上；形成严酷海洋环境下钢材产品评价标准和设计指南或规范 2 件以上，申请发明专利 10 件以上，实现工程示范应用 2 项。

6. 结构材料制备加工与评价新技术

6.1 金刚石超硬复合材料制品增材制造技术与应用示范 (典型应用示范)

研究内容：围绕深海/深井勘探与页岩气开采、高端芯片制造等国家重大工程对长寿命、高速、高精度超硬材料制品的需求，开展高性能金刚石刀具、磨具和钻具等结构设计和增材制造技术研究，结合新型金刚石超硬复合材料工具宏观外形和微观异质结构的理论设计和数值模拟，重点突破增材制造用超硬复合材料金属粉体关键制备技术和含超硬颗粒的多材料增材制造关键技术，完成典型工况条件下服役性能的评价。

技术指标：切/磨削类制品在典型工况条件下磨耗比降低 70%以上，耐热性达到 800°C 以上，使用寿命是现有加工材料的 2 倍以上；钻具类制品抗弯强度 $\geq 2000\text{MPa}$ ，冲击韧性 $\geq 4\text{J/cm}^2$ ，努氏硬度(压痕)达到 50GPa，使用寿命达到 YG15 (WC-15Co) 类硬质合金的 5 倍以上；形成年产百万件的工业化生产能力，实现 2~3 种产品的规模应用。

6.2 高强轻质金属结构材料精密注射成形技术(共性关键技术)

研究内容：针对 5G 基站、消费电子、无人机或机器人等领域对高强轻质结构零件的迫切需求，研究粉末冶金高强

轻质金属结构材料及其注射成形工艺过程精确控制原理与方法、小型复杂构件精密成形、低残留粘结剂设计及杂质元素控制、强化烧结致密化及合金的强韧化。重点突破粉末冶金高强轻质钢设计及其粉末制备、低成本近球形钛合金微细粉末制备、可烧结高强粉末冶金铝合金及近球形微细粉末制备、组织性能精确调控等关键技术，实现高强轻质金属复杂形状制品的稳定化宏量生产。

考核指标： 高强轻质钢密度 $\leq 6.2\text{g/cm}^3$ ，屈服强度 $\geq 1000\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 5\%$ ；低成本钛合金粉末（ $D_{50} \leq 10\mu\text{m}$ ），成本降低 50%以上，合金屈服强度 $\geq 900\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 7\%$ ；高强铝合金密度 $\leq 3\text{g/cm}^3$ ，屈服强度 $\geq 550\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 5\%$ ；标准试件精度 $\pm 0.1\%$ ；形成年产 1000 吨的工业化生产能力。

6.3 大型复杂薄壁高端金属铸件智能液态精密成型技术与应用（共性关键技术）

研究内容： 面向大涵道比涡扇航空发动机、新能源汽车等对超大型复杂薄壁高端金属铸件的需求，打破传统“经验+试错法”研发模式，探索基于集成计算材料工程、大数据与人工智能相结合的金属铸件智能液态精密成型关键技术。研究超大型复杂薄壁金属铸件凝固过程的组织演变与缺陷形成机理，建立多物理场耦合作用下铸件组织与缺陷的预测模型，发展数据驱动的材料综合性能与铸造工艺多因素智能化寻优方法，形成金属铸件智能液态精密成型数字孪生模型及系统。

考核指标： 开发超大型复杂薄壁高端金属铸件液态精密

成型仿真分析专用软件 1 套，实现多物理场耦合分析的并行计算求解和铸造缺陷高精度预测，计算网格规模可支持 200 亿以上。开发智能液态精密成型数字孪生体与数字孪生系统 1 套，计算实时精度不低于 95%，实现铸造工艺智能优化与铸件质量智能控制。在不少于 2 类超大型复杂薄壁高端金属铸件制造中进行验证应用，铸件的最大尺寸 ≥ 1700 mm，最小壁厚 2~4 mm，尺寸公差达到 DCTG6，气孔/缩松缺陷低于 3%，铸造成品率 90%。

6.4 复杂工况下冶金领域关键部件表面工程技术与应用 (典型应用示范)

研究内容：针对冶金领域高温、重载、高磨损等复杂工况对关键部件表面防护技术的迫切需求，开展复合增强表面工程材料及涂镀层结构的理性设计，开发复合镀、超高速激光熔敷、冷喷涂、堆焊等相结合的复合表面工程技术，攻克复杂工况下冶金领域关键部件表面耐高温、耐磨损、抗疲劳涂镀层制备的关键技术，开展其服役性能评价和寿命预测，并应用于挤压芯棒、结晶器、除鳞辊等典型部件，在大型钢铁冶金企业得到示范应用。

考核指标：开发无缝钢管挤压芯棒、结晶器、除鳞辊等三种典型件表面制造的专用复合粉末 3 种以上，涂层结合力 ≥ 100 MPa，综合使用寿命提升 40%以上；挤压芯棒的耐磨性比 H13 钢提高 2 倍以上，表面润滑镀层摩擦磨损性能比传统镀层提升 20%以上；除鳞辊的硬质相质量比 $\geq 60\%$ ，粘结相硬度 HRC ≥ 38 ，无裂纹；铜结晶器修复层晶粒度 < 10 μm ，可

修复厚度 $\geq 6\text{mm}$ ；表面强化涂层孔隙率 $< 1\%$ ，修复及强化后变形量 $\leq 2\text{mm/m}$ ，单套结晶器过钢量 10 万吨以上。

7. 基于材料基因工程的结构与复合材料

7.1 结构材料多时空大尺寸跨尺度高通量表征技术（基础研究）

研究内容：针对高温合金、轻合金和高性能复合材料等的工程化需求，基于先进电子、离子、光子和中子光源，集成多场原位实验与多平台关联分析技术，研发晶粒、组成相、相界面、化学元素、晶体缺陷与织构的多时空跨尺度高通量表征、智能分析与快速评价技术，研发大尺寸多尺度组织结构和宏微观力学性能高通量表征技术与试验装备，实现典型工程化结构材料制备、加工和服役过程中内部组织结构的动态演化和交互作用规律的高效研究，建立材料成分-组织-性能的多尺度统计映射关系与定量模型，在典型结构材料的改性、工艺优化和服役评价等方面得到实际应用。

考核指标：建立多场耦合条件下晶粒、组成相、相界面、化学元素、晶体缺陷与织构的多维多尺度高通量表征技术与系统 ≥ 3 项，维度 ≥ 4 维，空间尺度范围覆盖亚埃至厘米尺度，主要技术参量深度耦合；建立大尺寸多尺度组织结构和宏微观力学性能高通量表征技术与试验装备 ≥ 2 项，指导行业龙头企业实现 3 种以上产品全流程的高通量表征与快速服役评价，实现产品核心性能和工艺的显著优化。申请发明专利 3~5 项，软件著作权登记 3~5 项，形成高通量表征技术和服役评价标准或规范 3 项。

7.2 金属结构材料和构件服役行为智能化高效评价与工程应用（共性关键技术）

研究内容：针对金属结构材料腐蚀、疲劳、蠕变等服役性能评价耗时长、成本高的问题，通过多物理场耦合、宏微观多尺度损伤建模，融合智能传感、信号处理、机器学习等现代技术，研发材料服役性能物理实验与模拟仿真实时交互和数字孪生的智能化高效评价技术和装置；研究金属结构材料数据虚实映射与数据交互规则，建立数据关联平台，加速材料服役性能数据的积累，形成关键金属结构材料和构件完整性评价数据系统；集成结构模型与损伤模型，发展基于大数据技术的金属结构材料服役安全评价和寿命预测的新技术和新方法，并实际应用到重大工程领域。

考核指标：研发出金属结构材料服役性能参数实时监测和数据采集的新型智能传感器 2 种以上；建立材料服役性能评价物理空间与数字空间加速模拟之间的多维度映射和数字孪生关系，研发出满足时效性的金属结构材料服役性能表征参量建模和模拟方法 3 种以上，满足 3 种以上耦合环境的模拟，评价效率提升 2 倍以上；申请发明专利 5~8 项；在长输管线和能源装备等重大工程领域进行示范应用。

7.3 基于材料基因工程的新型高温涂层优化设计研发（共性关键技术）

研究内容：针对海上动力装备用热端部件及其海洋腐蚀环境，发展高温涂层的高通量制备技术，开展新型高性能高温涂层成分和组织结构的高通量实验筛选和优化研究；研发

涂层-基体界面结构和性能多尺度高效模拟设计和预测技术，研发涂层高温力学性能、界面强度、残余应力和高温腐蚀性能等的高通量实验技术，开展涂层与界面性能和工艺优化研究；综合利用材料基因工程关键技术，研发出具有重要工程应用前景的新型超高温、耐腐蚀涂层。

考核指标：研发出不少于 3 套针对涂层的高温力学性能高通量测试技术和装置，测试温度不低于 1600℃，满足高温力学性能、界面强度和残余应力等多种力学性能的测试，测试效率提高 30%以上；研发出涂层-基体结构和性能多尺度高效模拟预测模型和技术，模型预测值与实际测试值偏差 $\leq 15\%$ ；综合利用材料基因工程技术，研发出 3 种以上新型高性能涂层材料，服役温度提高 100℃以上，1200℃循环氧化达到完全抗氧化级，综合性能满足工程应用需求；申请发明专利 10 项以上，国际标准 3 项以上。

7.4 高强韧金属基复合材料高通量近净形制备与应用 (共性关键技术)

研究内容：针对航空航天领域高强韧金属基复合材料应用需求，围绕非连续增强金属基复合材料强韧性失配及复杂构件成形加工周期长、成本高、材料利用率低的突出问题，结合材料基因工程思想和近净形制备技术原理，研发铝基、钛基复合材料高通量近净形制备技术及其高通量表征技术；测试和采集基体与不同增强相界面物理化学数据，建立不同基体/增强相界面热力学和动力学物性数据库；研究铝基、钛基复合材料成分-构型-工艺-界面-性能交互关联集成计算技

术，实现材料体系与构型及其近净形制备工艺方案与参数的高效同步优化，并在航空航天等领域得到工程示范应用。

考核指标：构建成分-构型-工艺-界面-性能关系设计平台及多尺度模拟平台，实现 100 种以上复合材料构型的模型高效创建与计算；高通量近净形制备和表征技术能力 ≥ 200 样品数/批次；构型化复合材料断裂韧性比均匀复合材料提升 $\geq 30\%$ ，晶须增强型与颗粒增强型铝基复合材料的弹性模量比基体提高 50%与 150%以上，钛基复合材料承温能力提高 200°C 以上；复杂构件近净形制备技术的材料利用率提高 3~5 倍，制造周期及生产成本“双减半”；在航空航天等领域实现 10 个以上典型应用；申请发明专利 20 项以上。

7.5 先进制造流程生产汽车用钢集成设计与工程应用 (典型应用示范)

研究内容：鉴于钢铁工业绿色制造、生态发展对先进制造流程生产高端钢铁材料的迫切需求，基于材料基因工程的思想，针对近终形流程生产汽车用钢，采用多场耦合和跨尺度计算技术，集成材料开发与产品应用的跨尺度计算模型，构建一体化集成计算平台，建立材料基础数据和工艺、产品数据库，开发基于数据挖掘和强化机制的组织性能定量关系模型，实现产品成分-工艺-组织-性能的精准预报；开展在近终形流程生产汽车用钢的示范应用，研制出代表性产品并实现工程应用。

考核指标：针对近终形流程生产汽车用钢，开发出成分-工艺-组织-性能关系的跨尺度（ $10^{-3}\sim 10^3\text{ mm}$ ）模型，构建出

全流程一体化集成计算平台，关键工序的组织结构模拟与产品性能预报误差 $\leq 10\%$ ；建成材料、工艺、产品等复杂异构有机融合的数据库，数据量大于 50 万条；研发出 2 种汽车用钢，在典型近终形流程上实现千吨级生产，研发成本和周期降低 35%；申请发明专利或软件著作权 10 件以上。

7.6 增材制造专用高性能高温合金集成设计与制备（基础研究）

研究内容：针对航空发动机、高超声速飞行器、重载火箭等国家大型工程等所需高温合金精密构件服役特点和增材制造物理冶金特点，融合多层次跨尺度计算方法、并行算法和数据传递技术，发展增材制造专用高性能高温合金的高效计算设计方法与增材制造全流程模拟仿真技术，结合高通量制备技术和快速表征技术，建立增材制造专用高性能高温合金的材料基因工程专用数据库；结合机器学习、数据挖掘、可视化模拟等技术，开展增材制造专用高温合金高效设计与全流程工艺优化的研究工作，实现先进高温合金高端精密构件的组织与尺寸精密化控制，并在航空航天等领域得到工程示范应用。

考核指标：针对国家大型工程等所需高温合金精密构件特点，研制出 3~5 种增材制造专用高温合金，研发周期缩减 40%以上、研发成本降低 40%以上；发展高端增材制造装备和工艺配套的高温合金材料和技术体系，实现国产化规模应用，综合性能平均提升 20%以上，产品成本降低 30%以上，核心性能指标、批次稳定性达到国际先进水平；申请发明专

利或软件著作权 10 件以上。

7.7 极端服役条件用轻质耐高温部件高通量评价与优化设计（共性关键技术）

研究内容：发展基于大数据分析和数据挖掘的高温钛合金、钛铝金属间化合物等轻质耐高温部件组织结构与疲劳、蠕变等关键性能的定量预测模型；研制实时瞬态衍射、原位成像表征装置，发展三维无损检测高效分析技术；研究高温腐蚀环境下组织结构演化和性能退化机理、高温和循环载荷等多因素耦合作用下的损伤累积及高通量评价与寿命预测技术；基于极端环境服役性能需求，利用机器学习和数据挖掘技术，实现轻质耐高温材料的成分、组织、制备工艺、服役性能的高效优化，并在航空、航天、核能等领域实现在极端服役条件下工程示范应用。

考核指标：研发出 3~4 种新型轻质耐高温材料及其制备方法，高温钛合金 700°C/300MPa/0.5h 条件下的蠕变性能提升 30%以上，钛铝金属间化合物 700°C疲劳强度提升 40%以上，构件制造成品率提升 30%以上；开发轻质耐高温材料高温蠕变与疲劳性能预测程序 1 套，包含组织模型、实验数据分析与处理模型、预测模型等；研制出微观结构原位高通量表征装置 1 套，成像分辨率优于 10 μ m，时间分辨 200~500ms；制定标准和技术规范 2 项；在 3~4 个重大工程关键材料上获得示范应用。

8. 青年项目

8.1 车载复合材料 LNG 高压气瓶制造基础及应用技术

研究内容：针对车载复合材料液化天然气（liquefied natural gas, LNG）高压气瓶的制造与应用，研究 LNG 介质相容的树脂基复合材料体系设计与制备；耐极端环境复合材料 LNG 气瓶结构设计技术；复合材料 LNG 高压气瓶抗渗漏技术；复合材料 LNG 高压气瓶制造技术；复合材料 LNG 高压气瓶的性能评价技术。

考核指标：建立容积 1000L 以上复合材料 LNG 高压气瓶的设计方法，复合材料 LNG 高压气瓶工作压力 1.59MPa，理论充满率 $\geq 88\%$ ，工作温度低于 -162°C ，漏放气速率 $\leq 6 \times 10^{-7} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ，与同尺寸金属 LNG 气瓶相比减重 30%以上。

8.2 新一代结构功能一体化泡沫的制备和应用

研究内容：面向结构功能一体化泡沫技术迭代的迫切需求，开发具备负泊松比和高耐火保温等功能的泡沫，主要针对新型多级结构负泊松比结构泡沫材料、耐高温聚酰亚胺泡沫和高温可发泡防火材料等开展攻关，并开展其复合材料研究，在结构支撑、保温隔热等领域得到应用。

考核指标：负泊松比材料的泊松比 $-1.4 \sim 0.2$ 可调，拉伸杨氏模量大于 1MPa，能量吸收提高达到 5 倍以上，冲击加速度峰值降低 50%；聚酰亚胺泡沫长期使用温度不低于 300°C ，密度不高于 $10 \text{kg}/\text{m}^3$ ；高温可发泡防火材料 300°C 发泡 1.5 倍，烟毒性达到 AQ1，耐火极限 2h。

8.3 单晶高温合金先进定向凝固技术及其精确模拟

研究内容：针对当前航空发动机单晶涡轮叶片生产合格率低、冶金缺陷频发的现状，开展单晶高温合金及叶片高温

度梯度液态金属冷却(LMC)定向凝固技术研究,突破 LMC 技术中动态隔热层配置、晶体取向控制、模壳制备、低熔点金属污染控制等关键技术,实现 LMC 技术的多场耦合、多尺度精确模拟,研究复杂结构单晶叶片在高梯度定向凝固中的缺陷形成、演化机理,发展缺陷控制技术。

考核指标: LMC 工艺制备的单晶合金高周疲劳性能比传统定向凝固工艺提高 50%; LMC 工艺制备的航空发动机单晶叶片一次枝晶间距 $<240\mu\text{m}$; 发展单炉叶片数量 ≥ 18 件、毛坯合格率 $>70\%$ 的高效单晶叶片制造技术; 申请核心发明专利 3 项以上。

8.4 海洋油气钻采关键部件用高强高韧合金

研究内容: 针对海洋油气随钻测量和定向钻井、海底井口设备关键部件主要依靠进口问题,开展时效硬化型高强韧镍基、铁镍基耐蚀合金设计、高纯净低偏析冶金、强韧化机理、应力腐蚀疲劳失效寿命评估理论与方法等基础共性技术和产业化关键技术研究,实现高强韧、大规格、高均质耐蚀合金和超高强度高耐蚀合金验证性示范应用。

考核指标: 高强韧高镍和镍基耐蚀合金 2 个牌号,各项技术指标全面达到 API 6ACRA 和 API 6A718 现行标准要求,夹杂物等级(含碳氮化合物) ≤ 1.0 级、 -60°C 弦向冲击功与轴向冲击功之比 ≥ 0.8 , 达标棒材直径不小于 400mm; 系列高性能合金实现在高酸性油气和海洋油气工程中的验证性示范应用。直径 100 至 200mm, $\sigma_b \geq 1500\text{MPa}$ 、 $\sigma_{0.2} \geq 1400\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 12\%$ 的时效硬化型超高强韧镍基或铁镍基耐蚀合金研

究取得进展。

8.5 基于激光增材制造技术的超轻型碳化硅复合材料光学部件制造

研究内容：面向空间光学系统轻量化的发展需求，研究新型超轻型碳化硅复合材料光学部件预制体激光增材制造用粉体原料的设计与高效制备技术；开发基于激光增材制造技术的碳化硅复合材料光学部件基体成型与致密化技术；开发基于激光增材制造技术的碳化硅复合材料光学部件表面致密层制备技术；开展超轻型碳化硅复合材料光学部件的加工验证研究。

考核指标：碳化硅复合材料弯曲强度 $\geq 200\text{MPa}$ ，弹性模量 $\geq 200\text{GPa}$ ，热导率 $\geq 100\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，热膨胀系数 $\leq 3 \times 10^{-6}/\text{K}$ ；碳化硅复合材料光学部件口径 $\geq 350\text{mm}$ ，轻量化率 $\geq 80\%$ ，面密度 $\leq 25\text{kg}/\text{m}^2$ ；研制出 350mm 以上口径碳化硅复合材料光学部件，表面粗糙度 $R_a \leq 1\text{nm}$ ，面形精度 $\text{RMS} \leq \lambda/40$ ($\lambda=632.8\text{nm}$)，500-800nm 波段平均反射率 $\geq 96\%$ 。

8.6 基于激光技术的材料服役行为多维度检测技术和装备

研究内容：针对核电、海工等领域极端条件下结构材料服役性能远程在线、多维度、智能化检测的发展需求，开展基于激光技术的光谱、表面声波、超声或多种方法融合的材料组分、结构特性、力学性能、缺陷特征检测新原理和新方法研究，发展极端条件下结构材料服役行为的实时、原位、无损检测技术，研制与材料基因工程大数据、人工智能分

析算法和机器人技术深度融合的材料多维、多尺度在线监测原型装置，实现多场耦合极端环境下材料多层次、多维度服役性能原位无损在线测量及示范应用。

考核指标：基于先进激光技术的、指标国际先进的 3 种材料服役性能原位无损在线测量方法；关键材料服役行为多维度非接触无损检测装备 1 套：关键痕量元素测量限优于 100ppm，材料力学性能测量精度高于 85%，可检测 $10\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}\times 2\mu\text{m}$ 以上尺度内部缺陷或损伤；在 2 种以上典型材料服役场景获得验证性示范应用；申请核心发明专利 8 项以上。

8.7 超高刚度镁基复合材料的集成计算设计与制备

研究内容：以航空、航天或高铁领域为应用场景，针对超高刚度镁基复合材料特点，发展高刚度镁合金集成材料计算软件和镁基复合材料高通量实验技术，开展基于弹性变形抗力提升的镁合金基体成分设计和增强体种类、尺寸和分布形态对镁合金刚度和强韧性影响规律的研究工作，研发多尺度增强体复合构型强化的镁合金材料高效制备与组织调控技术，建立高刚度镁基复合材料及其典型构件的全流程制备技术，并实现在重大工程中的应用验证。

考核指标：研发一套适用于高刚度镁合金组分与增强体快速筛选的高通量制备系统，单次试验可制备试样数大于 10^2 数量级；研制出 1 种以上高刚度镁合金复合材料：密度 $\leq 2.0\text{g/cm}^3$ ，弹性模量 $\geq 90\text{GPa}$ ，室温抗拉强度 $\geq 350\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 250\text{MPa}$ ；研发 1~2 种高刚度镁合金典型构件，在航空、

航天或高铁领域实现验证性示范应用。

8.8 增材制造先进金属材料的实时表征技术及应用

研究内容：研发基于同步辐射光源的原位表征技术与装备，动态捕捉增材制造过程中高温下微秒级时间尺度和微米级局域空间内的相变和开裂；通过高通量的样品设计和多参量综合表征手段，揭示动态非平衡制备过程中材料组织结构的演化和交互作用规律。面向典型高性能结构材料，揭示增材制造快速熔化凝固超常冶金过程对稳定相、材料组织结构和最终性能产生影响的因素，快速建立材料成分-工艺-结构-性能间量化关系数据库；结合材料信息学方法，发展增材制造工艺和材料性能高效优化软件，在典型增材制造材料的设计与优化中得到应用。

考核指标：发展基于同步辐射光源的增材制造原位表征技术与装备，在多个尺度上实时追踪增材制造过程中材料组织演变、裂纹生长和化学反应的动态过程。实现单点表征区域 $> 200\mu\text{m}$ ，空间分辨率 $\leq 10\mu\text{m}$ ，时间分辨率 $\leq 5\mu\text{s}$ ，表征通量 $> 10^3$ 样品空间成份点的原位无损分析；构建高温合金、不锈钢、钛合金、铝镁合金等高性能结构材料成分-工艺-结构-性能数据库，开发增材制造工艺优化专用软件，应用于三种增材制造材料的设计与优化。申请发明专利 3~5 项，软件著作权 2~3 项。

8.9 新一代抗低温耐腐蚀高强韧贝氏体轨道钢

研究内容：针对低温下贝氏体钢中亚稳残余奥氏体易转变为脆性马氏体，增加贝氏体钢轨道安全服役隐患的问题，

研究腐蚀、低温环境下贝氏体轨道钢（含钢轨和辙叉）的失效破坏机制，建立贝氏体轨道钢“夹杂物特性-组织结构-常规性能-服役条件-失效方式及寿命评估”数据库，开发适用于腐蚀、低温环境的新一代高强韧性、长寿命贝氏体轨道钢及其冶金全流程制造关键技术。

考核指标：抗低温耐腐蚀贝氏体轨道钢牌号 1 个，完整数据库 1 套；贝氏体轨道钢的室温下抗拉强度 $\geq 1350\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 15\%$ 、 $A_{ku}\geq 130\text{J}$ ， -40°C 下 $A_{ku}\geq 80\text{J}$ 、 $K_{IC}\geq 60\text{MPa m}^{1/2}$ 、 $da/dN\leq 15\text{m/Gc}$ ($\Delta K=10\text{MPa m}^{1/2}$)、 $da/dN\leq 50\text{m/Gc}$ ($\Delta K=13.5\text{MPa m}^{1/2}$)；耐腐蚀性能较现役轨道钢提高 20%以上；申请发明专利 5 项以上。

“高端功能与智能材料”重点专项

2021年度项目申报指南建议

(征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“高端功能与智能材料”重点专项。本重点专项总体目标是：以国家重大需求为导向，支撑新一代信息技术、智能制造、新能源、现代交通、智能电网、深海/深空/深地探测等领域的发展以及健康中国、美丽中国、数字中国等国家战略的实施，解决高端功能与智能材料的重大基础原理、核心制备技术与工程化应用等关键问题，在有力支撑智能制造、智能电网、新能源、生命健康、生态环境等领域高质量可持续发展的同时，总体研发和应用达到国际先进水平。

根据本重点专项工作部署，现提出2021年度项目申报指南建议。2021年度指南部署遵循“基础研究、共性关键技术、典型应用示范”全链条创新设计、一体化组织实施原则，拟围绕先进能源材料、关键医用与防疫材料、高端分离膜及催化材料、机敏/仿生/超材料、特种与前沿功能材料和材料基因工程应用技术6个技术方向，启动36个指南任务。

1. 先进能源材料

1.1 新一代钙钛矿太阳能电池关键材料及宏量制备技术（共性关键技术）

研究内容：面向新一代钙钛矿太阳能电池实际应用的需求，研制高稳定、高效率、高均一性、低成本钙钛矿材料，发展高纯度钙钛矿晶体的绿色无污染宏量化制备技术，解决无废料高产率原料合成、可控高速结晶及分离纯化等难题；开发均匀薄膜制备及稳定性技术，围绕兆瓦级钙钛矿太阳能电池中试生产，发展组件封装技术，实现材料性能迭代提升。

考核指标：围绕兆瓦级钙钛矿太阳能电池，研制出单一模组面积不小于 1m^2 ，基于宏量钙钛矿材料，小批量组件样品数 ≥ 10 ，光电转换效率不低于16%，效率差异小于1%；组件户外稳定发电记录不少于1年，性能衰减小于5%，峰瓦成本低于硅基太阳能电池；形成不少于2吨的高纯钙钛矿晶体材料产业化能力。

1.2 高性能高温超导材料及磁储能应用（典型应用示范）

研究内容：面向电力系统快速功率补偿和补偿电压瞬时跌落应用需求，建立超导磁储能装备中不同磁场强度部件用超导材料体系，开发高均匀 MgB_2 和 Bi 系前驱粉末的喷雾热分解批量制备、超导线材多芯陶瓷粉末/金属复合体塑性变形控制、高压热处理技术；突破 YBCO 长带涂层结构优化、磁通钉扎控制、快速沉积技术，全面提高超导带材载流能力、机械与电磁性能；基于国产超导材料，开发超导集束缆线成缆技术，研制大容量超导储能用高载流缆线；研究基于新型集束缆线的环形超导储能磁体电-磁-热-力多场耦合分析、结构设计与制造技术；研究超导磁储能系统接入技术及控制策略，解决 10MJ 级超导磁储能系统集成与应用技术，完成并

网试验验证。

考核指标：建成单根长度大于千米、年产 300 千米的超导线材生产线，三类线材的性能分别达到： MgB_2 线材，4.2K、3T 下临界电流密度达到 $1000A/mm^2$ ；Bi 系线材，4.2K、20T 下临界电流密度达到 $1200A/mm^2$ ；YBCO 线材，77K、自场下临界电流密度大于 $20000A/mm^2$ 。超导储能磁体储能量不小于 10MJ，最大输出功率不小于 5MW，能量转换效率达到 90%，完成并网试验验证。

1.3 高能量密度金属锂基二次电池及其关键材料（基础研究）

研究内容：针对新能源汽车、智能电网对高能量密度、本质安全二次电池技术的广泛需求，研究金属锂基二次电池的基础科学问题、关键材料和技术。设计和制备实用新型金属锂基复合负极材料以及与之相适配的环境友好型、低成本高性能固态电解质和高容量正极材料；开展微结构设计、界面适配性与改性研究，提升电池电化学性能和稳定性；构筑高能量密度、高安全的金属锂基二次电池。

考核指标：提出金属锂基二次电池电化学性能调控新机制和新理论；开发金属锂基复合负极，比容量 $\geq 2000mAh/g$ ；固态电解质膜面电阻 $\leq 10\ \Omega\ cm^2$ ，厚度 $\leq 20\ \mu m$ ，电化学窗口 $\geq 4.8V$ ；正极材料比容量 $\geq 200mAh/g$ ，可逆循环 2500 次后容量保持率 $\geq 80\%$ ；单体电池能量密度 $\geq 350Wh/kg$ ，循环寿命 ≥ 2000 次。

1.4 高效高安全储运氢关键材料开发及应用（共性关键

技术)

研究内容: 面向氢能产业发展的重大需求, 针对氢储运效率低等技术瓶颈, 开发运氢能效高、安全便捷、长服役寿命的新型储氢材料及其制备技术, 突破材料规模化制备和均一性、高安全、高效能储运氢系统集成等关键技术, 开展储运氢工程示范。

考核指标: 高温型储氢材料的重量储氢密度 $\geq 6.0\text{wt}\%$ 、体积储氢密度 $> 75\text{kg H}_2/\text{m}^3$ 、放氢温度 $\leq 250^\circ\text{C}$ 、工作压力 $\leq 2.0\text{MPa}$ 、循环 2000 次后有效储氢密度 $\geq 4.5\text{wt}\%$; 低温型材料的有效储氢密度 $\geq 2.5\text{wt}\%$ 、放氢温度 $\leq 50^\circ\text{C}$ 、循环 2000 次后有效储氢密度 $\geq 1.8\text{wt}\%$; 形成年产百吨级规模能力, 合格率 95%以上; 建成储氢材料运氢示范工程。

1.5 高性能低成本燃料电池膜电极的产业化制备技术 (典型应用示范)

研究内容: 面向车用高功率密度的氢燃料电池的需求, 研究开发低铂载量的高性能膜电极以及低铂含量合金催化剂、复合质子交换膜的宏量制备技术; 围绕膜电极宏量制备关键工艺环节, 构建制备工艺-膜电极性能分析与预测模型, 实现在线监测、自动控制以及宏量制备技术的迭代提升。

考核指标: 膜电极功率密度 $\geq 2.0\text{W}/\text{cm}^2$, 膜电极寿命 $\geq 10000\text{h}$ (运行时间), 膜电极最高工作温度 $\geq 95^\circ\text{C}$, 原材料全部实现国产化, 膜电极成本 $\leq \text{¥}300$ 元/kW, 质子交换膜的离子电导率 $\geq 0.1\text{S}/\text{cm}$ (95°C , 60RH%), 铂载量 $\leq 0.1\text{g}/\text{kW}$, 催化剂产能 $\geq 1000\text{kg}/\text{年}$, 复合质子交换膜产能 $\geq 200000\text{m}^2/\text{年}$,

膜电极产能 $\geq 200000 \text{ m}^2/\text{年}$ ，宏量制备膜电极良品率 $\geq 98\%$ （抽检 10000 片，输出功率偏差 $\leq \pm 8\% @ 0.65\text{V}$ ）。

1.6 电力电子装备用关键磁性材料开发及样机研制（共性关键技术）

研究内容：面向电力电子装备的高频、高功率发展需求，开发平面流铸的核心装备及极薄规格硅钢制备成套工艺技术，研制系列极薄规格取向硅钢和 6.5%Si 钢；开发宽幅超薄高性能软磁合金制备与应用技术；研发单个模块 500kVA 电力电子变压器的结构设计、磁芯加工和模块样机制造等关键技术。

考核指标：建成平面流铸带制备极薄规格硅钢中试线，钢水后工序产线长度、能耗和水耗比传统流程减少 80% 以上。开发出厚度 0.03~0.10mm 取向硅钢和 6.5%Si 钢，其中取向硅钢 $B_{800} \geq 1.86\text{T}$ ， $P_{1.3\text{T}/50\text{Hz}} \leq 0.25\text{W/kg}$ ， $P_{1.7\text{T}/50\text{Hz}} \leq 0.6\text{W/kg}$ ； $P_{1.0\text{T}/400\text{Hz}} \leq 5.9\text{W/kg}$ ；6.5%Si 硅钢磁致伸缩 $\leq 0.1 \times 10^{-6}$ ， $B_s \geq 1.80\text{T}$ ， $B_{800} \geq 1.35\text{T}$ ， $P_{1.0\text{T}/400\text{Hz}} \leq 5.85\text{W/kg}$ ， $P_{0.2\text{T}/5000\text{Hz}} \leq 12\text{W/kg}$ ；高性能软磁合金宽度 $\geq 120\text{mm}$ ，厚度 $\leq 0.015\text{mm}$ ，磁芯损耗 $P_{0.5\text{T}/10\text{kHz}} \leq 7\text{W/kg}$ ；电力电子变压器单个模块额定容量 500kVA，绝缘等级 35kV，工作频率 10kHz~20kHz，效率大于 98%，样机通过型式试验。

1.7 高效能牵引电机关键材料与集成技术（共性关键技术）

研究内容：面向轨道交通对高效率、高功率密度牵引电机的发展需求，研究大尺寸高导电铜基复合材料、高性能永

磁和软磁材料的可控制备工艺和性能调控技术；开发高导电铜基复合材料与高性能永磁和软磁的工程化制造技术；发展基于高导电铜基复合材料与高性能磁性材料的牵引电机集成设计与制造技术。

考核指标：铜基复合材料电导率 $\geq 118\%$ IACS，抗拉强度 $\geq 200\text{MPa}$ ，中试样件长度 $\geq 50\text{m}$ ，电导率 $\geq 108\%$ IACS；磁性材料剩磁温度系数优于 $-0.065\%/K$ ，室温磁能积 $\geq 35\text{MGOe}$ ， 150°C 下磁能积 $\geq 30\text{MGOe}$ ，抗弯强度 $\geq 160\text{MPa}$ ，中试样件磁性均匀度优于 $\pm 0.5\text{MGOe}$ ；软磁铁芯饱和磁感应强度 $B_s \geq 1.75\text{T}$ ， $P_{1.5\text{T}/150\text{Hz}} \leq 1.2\text{W/kg}$ ， $P_{1.5\text{T}/400\text{Hz}} \leq 3.5\text{W/kg}$ ；基于上述材料研制的牵引电机，在S1工作制下，功率密度 $\geq 1.2\text{kW/kg}$ ，最高效率 $\geq 97.5\%$ ，装车测试数不少于2台套。

2. 关键医用与防疫材料

2.1 高性能医用高分子关键材料技术及产业化（典型应用示范）

研究内容：面向高端医疗器械及医疗防护需求，开发“人工肺”的聚 4-甲基 1-戊烯（PMP）中空纤维膜材料、高端药包材用环状聚烯烃材料、血液净化材料，开展相关技术标准体系建设；开发医疗防护用超高熔指聚丙烯树脂制备及应用技术。

考核指标：“人工肺”的中空纤维膜 PMP 材料透光率 $>90\%$ ，吸水率 <0.01 ，热变形温度 $>120^\circ\text{C}$ ，熔点 $220\sim 240^\circ\text{C}$ ，密度 <0.9 ，产能 1 吨/年以上；环状聚烯烃开环易位聚合单体转化率 $>95\%$ ，氢化转化率 $>99\%$ ，透光率 $>90\%$ ，吸水率 <0.01 ，

折射率 >1.52 ，热变形温度 $>120^{\circ}\text{C}$ ，玻璃化转变温度 $>150^{\circ}\text{C}$ ，低溶出物，无机杂质含量小于 500ppm ，产能 100 吨/年以上；血液净化用聚砜材料的二聚体杂质含量低于 1.3% 、重均分子量 $65000\pm 4000\text{D}$ ，分子量分布小于 4.5 ，金属离子等杂质含量满足医用要求，产能 3000 吨/年以上；形成年产十万吨超高熔指聚丙烯树脂示范及应用装置，树脂改性后， $\text{MFR} \geq 1500\text{g}/10\text{mi}$ 并实现窄分子量分布（ <3.5 ）。

2.2 骨组织精准适配功能材料及关键技术（共性关键技术）

研究内容：面向因骨质疏松、骨肿瘤、感染等导致的人体骨组织缺损疾病治疗的需求，研发对骨组织功能重建具有生物适配功能的高端再生修复材料，开发融合生物材料、医学影像、计算机模拟、增材制造、人工智能的先进骨组织修复与再生成套技术，发展外场驱动的非侵入性材料，促进无生命材料向具有健全功能组织的转化。

考核指标：获得 $3\sim 5$ 种基于类骨无机粉体的新材料，阐明材料和组织相互作用机制及细胞信号通路；研发 $4\sim 6$ 种外场驱动的新材料；突破大尺寸类骨无机材料 3D 打印关键技术，骨修复体连通气孔率大于 50% ，孔径在 $100\ \mu\text{m}\sim 600\ \mu\text{m}$ 之间可控调节，压缩强度大于 $40\ \text{MPa}$ ，实现大尺寸骨缺损的再生修复；建立术前组织三维重建与手术模型制备、术中手术定位导板与精准修复再生修复材料构建、术后康复材料设计的围手术期骨精准再生修复成套技术；完成骨再生精准修复材料的临床前研究，开展临床试验 20 例以上。

2.3 生物大分子药物输送载体材料（共性关键技术）

研究内容：针对感染、肿瘤、心血管等重大疾病的治疗，发展多羟基聚阳离子材料、聚乳酸类高分子材料及其药物载体，递送免疫检查点抗体、抗感染性疾病的治疗性抗体和 siRNA、mRNA、质粒等核酸类生物大分子药物，克服药物递送生物屏障，并研究药物输送载体工程化制备技术，实现高效药物输送和疾病治疗。

考核指标：获得 3~5 种多羟基聚阳离子材料、聚乳酸类药用载体材料，其中 2 种及以上载体材料单批次合成规模 5 公斤以上；聚乳酸类聚合物分散度 <1.5 ，催化剂残留量低于临床医用标准；多羟基聚阳离子材料的羟基/胺基比不小于 2，在工作浓度下，溶血阴性；获得 3~5 种基于多羟基聚阳离子材料、聚乳酸类医用材料的生物大分子药物输送载体，药物负载效率 $>95\%$ ，药物含量 $>5\%$ ；建立 2 种以上抗体、核酸类生物大分子药物输送载体规模化制备技术，单批次生产规模 >1000 支（单支含药量为单人单次给药量），完成至少 1 种的临床前评价。

2.4 基于重大疾病分子诊断的生物材料与探针（共性关键技术）

研究内容：面向重大传染病、肿瘤、心脑血管等重大疾病的早期检测、动态示踪及可视化监测，研究具有重大疾病微环境刺激响应性或重大疾病标志物靶向能力的聚集诱导发光生物材料，明确构效关系，实现病灶部位和重大疾病标志物的高灵敏、特异性成像与检测；开发基于上述生物材料

的便携式定量检测设备。

考核指标：获得 5 种以上用于重大传染病、肿瘤、心脑血管等重大疾病的早期检测、动态示踪及可视化监测的聚集诱导发光生物材料，针对病灶部位成像的敏感性 $>90\%$ ，病灶部位与正常组织的对比信噪比 >100 ，针对疾病标志物检测的分析时间 <20 分钟，变异系数 $<5\%$ ，对疾病诊断的敏感性 $>80\%$ 、特异性 $>80\%$ ，疾病标志物检测限 $<1\text{ ng/mL}$ ；完成各类疾病不少于 500 例临床样本的检测；研制出 2~3 种基于上述材料的便携式定量检测设备。

3. 高端分离膜及催化材料

3.1 混合基质型水处理膜材料规模化制备技术（共性关键技术）

研究内容：围绕海水淡化、盐湖资源利用的应用需求，解决无机纳米粒子相与有机高分子材料相界面匹配问题，精准构筑水处理膜微结构和表面性质；研制高通量和高脱盐率的混合基质反渗透膜、一二价离子高分离率的纳滤膜和大通量低盐透正渗透膜，研发规模化的混合基质膜生产线；开发超滤、纳滤、反渗透、正渗透等耦合的多膜法海水淡化、盐湖锂资源提取等工程化应用技术，开展工程应用示范。

考核指标：混合基质型反渗透膜元件性能(32000mg/L NaCl, 5.5MPa, 25°C): 水通量 $\geq 1.2\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，盐截留率 $>99.7\%$ ；混合基质纳滤膜元件性能的截留分子量：200~400Da，纯水通量 $\geq 30\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，一二价离子的分离率大于 90%。形成 10000 支/年 8040 混合基质膜元件的生产能力，万吨/日的工程应用

示范。正渗透膜元件性能（1mol/L NaCl 为汲取液，去离子水为原料液，25℃）：水渗透通量 $\geq 10 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、盐反混通量 $\leq 0.2 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。形成 10 万 m^2 /年混合基质正渗透膜的生产能力。

3.2 高性能混合基质气体分离复合膜规模化制备及应用（共性关键技术）

研究内容：围绕二氧化碳减排和能源气体高效分离的应用需求，开发高 CO_2 分离性能的纳米填料，实现对其形貌、尺寸和气体传输通道的有效调控，提高纳米填料在聚合物基质中的分散性和稳定性；设计混合基质复合膜的规模化生产装置，评价所制膜在多种分离体系下的分离性、均匀性和耐杂质性；开发混合基质膜组件的卷制工艺和用于 CO_2 分离的混合基质膜中试装置。

考核指标：开发出 3 种以上高性能 CO_2 分离纳米填料，形成混合基质复合膜规模化制备的关键技术，设计出可规模化制备超薄无缺陷混合基质复合膜的生产线并连续制备出幅宽大于 1m 的膜产品，生产线所制大规模混合基质膜在 CO_2/N_2 (15/85)、 CO_2/CH_4 (10/90)和 CO_2/H_2 (40/60)混合气体体系下测试， CO_2 渗透速率分别 $\geq 1000 \text{ GPU}$ 、 400 GPU 和 300 GPU ，分离因子分别 ≥ 80 、 60 和 40 ；利用所制混合基质复合膜批量卷制出工业规模膜组件，单个膜组件的膜面积大于 25m^2 ，建成并稳定运行 $1000\text{Nm}^3/\text{h}$ 的中试装置，运行考核时间大于 1000h。

3.3 抗热震耐高压多孔无机膜制备与应用（共性关键技

术)

研究内容: 针对石油化工与核电领域的节能减排及安全生产需求, 研究低温原位烧结成型技术和孔结构精准调控技术, 开发高性能无机膜规模化制备技术; 研究石化行业高温气体净化膜装置及反冲控制技术并实现工业应用; 研制射流乳化无机膜技术并在典型反应体系实现工业应用; 研究第四代核电燃料系统用耐高压、高精度气体净化膜装置及高效除尘技术并实现工业应用。

考核指标: 开发出 3 种以上的无机膜新产品, 抗热震温差 $\geq 800^{\circ}\text{C}$, 抗折强度 $\geq 20\text{MPa}$, 形成 $5000\text{m}^2/\text{a}$ 的高性能无机膜生产能力; 建成千 $\text{Nm}^3/\text{小时}$ 的石化行业高温气体净化膜装置, 运行温度大于 400°C , 运行考核时间大于 1000 小时, 高温气体中粉尘脱除率大于 99.9%; 形成 200 万吨级以上射流乳化膜反应耦合技术的工艺包, 并在重油催化裂化工艺中得以实施, 运行考核时间大于 1000 小时; 建成耐高压、高精度核电燃料系统气体净化膜装置, 除尘精度达到 $0.3\mu\text{m}$, 除尘效率大于 99.9%, 耐压大于 8MPa , 反冲洗再生次数 3000 次以上, 运行考核时间大于 1000 小时。

3.4 高性能电驱动离子膜制备技术及应用示范 (典型应用示范)

研究内容: 围绕高盐废水减量化、资源化和化工清洁生产等应用需求, 研制具有高浓缩性能的电渗析膜材料和高产碱性能的双极膜材料; 研究高性能盐浓缩膜材料规模化制备技术, 开发含盐废水的高倍率、低能耗的电渗析浓缩技术;

研究高产碱通量、高产碱浓度的双极膜材料规模化制备技术，研究双极膜中间层催化剂流失机理及延寿技术；进行高性能电驱动离子膜的规模化生产及应用示范。

考核指标：形成 10 万平米/年的电渗析膜生产能力，膜片幅宽 ≥ 1.0 m，膜电阻 $< 3\Omega\text{cm}^2$ ，迁移数 $> 98\%$ ；盐浓缩浓度 > 21 wt%（NaCl 溶液），盐浓缩能耗 < 180 kWh/吨 NaCl，建成千吨/日的工程应用示范；形成 5 万 m^2 /年的双极膜生产能力，膜片幅宽 ≥ 1.2 m，双极膜初始水解离压降 ≤ 1.2 V（电流密度 100 mA/cm^2 ），连续运行 1000 小时后，水解离压降增加幅度 $\leq 1\%$ ，产碱能力 ≥ 0.2 $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{min})$ NaOH，产碱浓度 ≥ 5 mol/L，产碱能耗 ≤ 1500 kWh/吨 NaOH，碱转化率 $\geq 85\%$ ，在盐制酸碱等领域建成不小于 500 吨/日的工程应用示范。

3.5 耐溶剂型复合有机膜材料制备及应用（共性关键技术）

研究内容：围绕化工、医药、生物、食品等领域溶剂回收和纯化的应用需求，研制高稳定耐溶剂的聚醚醚酮和含氟类高分子膜材料，建立膜材料在溶剂体系中的稳定性评价方法；研究耐溶剂型复合有机膜材料表界面结构调控和制备技术，开发膜组件结构设计及封装关键技术；开发低成本规模化有机膜绿色生产技术。

考核指标：研制出可在有机溶剂体系（烃类、醇类、酮类、酯类等）中长期稳定运行的有机膜材料，其运行考核时间大于两年，膜性能衰减不高于 10%；实现制膜材料的规模化生产、单条制膜生产线年产量大于 10 万 m^2 。

3.6 重要反应过程催化材料的贵金属减量化关键技术 (共性关键技术)

研究内容: 针对烷烃脱氢、乙炔选择性加氢和氨及胺类化合物、煤基甲酸甲酯、维生素 H 合成等典型反应过程, 研究载体微区晶格限域和晶格诱导等对贵金属分散结构和局域电子结构的调控机制; 发展高效、单分散贵金属催化材料结构精准控制方法和宏量制备关键技术; 开发贵金属等效减量化、高稳定抗流失的系列单分散负载型催化材料, 研究金属间化合物催化材料; 开展代表性反应的应用示范。

考核指标: 同等活性水平下, 贵金属用量比传统催化剂减少 20% 以上, 催化剂成本较传统催化剂降低 20% 以上, 特定目标产物选择性不低于 95%; 同样工艺条件下, 反应周期比传统催化剂延长一倍, 贵金属组元流失率降低 50%; 建立 4 条年产百吨级催化剂规模化制备装置, 在 3 个以上万吨级典型反应体系过程中完成应用示范。

3.7 反应过程强化用结构化催化剂关键技术 (共性关键技术)

研究内容: 针对化工过程中传热、传质限制带来的高能耗、高物耗和高污染等问题, 开发结构化催化剂反应强化技术, 研制面向苯二酚和己内酰胺高效绿色生产的结构化钛硅分子筛催化剂、面向丙二酸绿色生产的催化-分离一体化结构化固体酸催化剂, 开发相应的固定床反应工艺; 研究表面缺陷结构可控的炭基结构化催化剂, 发展偏氟乙烯清洁生产新工艺; 开展结构化催化剂在苯二酚、己内酰胺、丙二酸等清

洁生产中的工业示范。

考核指标：研究出 3 种以上结构化催化剂，形成 100m³/年的结构化催化剂规模化生产能力；开发出 3 种以上清洁生产新工艺；钛硅分子筛结构化催化剂在 1000 吨/年苯二酚生产装置中实现工程应用，反应有效转化率≥85%，在 10 万吨/年己内酰胺装置中实现工程应用，环己酮肟选择性≥99.5%；结构化固体酸催化剂在 1500 吨/年丙二酸生产装置中实现工程应用，丙二酸收率>95%、纯度>99%。

4. 机敏仿生超材料

4.1 温度-热流-应变敏感材料及传感器研发（共性关键技术）

研究内容：面向航空发动机燃气轮机高温区温度、应变、热流等参数准确测试的迫切需求，研究多层敏感薄膜沉积技术、界面应力调控方法、典型薄膜传感器制造等关键技术，发展与金属结构件一体化集成的薄膜传感器以及柔性薄膜传感器，形成完整的高温薄膜传感器制造方法与技术标准，实现器件应用。

考核指标：在 1100~1800°C 温度测量范围内，薄膜温度传感器塞贝克系数>5μV/°C、响应时间≤1ms；应变计最高工作温度 1000°C、应变因子 GF>2、应变测量范围 0~800με、测量误差≤±10%，响应时间≤1ms；薄膜热流计最高工作温度 1000°C、灵敏度>80μV/(W/cm²)、响应时间<0.2μs。实现对新一代航空发动机典型工件的表面温度、热流、应力参数的准确检测。

4.2 特异性分离和能量转换仿生材料（共性关键技术）

研究内容：面向海水提取锂、铀等战略性资源元素及浓差电池发电技术的需求，发展超浸润乳液分离、元素富集以及能量转换仿生材料及器件，开发仿生微纳孔膜的离子筛分和富集材料，研究基于仿生微纳孔膜渗透能转换器件集成技术及能源转换器件。

考核指标：仿生微纳孔膜材料用于海水提锂及海水提铀，锂吸附量达到 20 mg/g，铀吸附量由商用吸附膜的 21 天 6mg/g 提升到 20mg/g。自清洁油水分离功能高分子膜纯水通量 $\geq 3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$ ，油水乳液分离功能的高性能膜材料将污水含油量自 1000 mg/L 降至 5 mg/L 以下，较传统气浮工艺节能 50%以上。高浓度梯度电解质体系渗透能转换器件功率密度大于 $10\text{W}/\text{m}^2$ 。

4.3 基于电磁模态耦合的新型功能超材料（共性关键技术）

研究内容：面向信息技术、高端技术装备等领域中特定工作频段光源、探测和波导器件的重大需求，开发室温工况的太赫兹二次谐波超材料，实现太赫兹谐波高自由度人工调控；发展基于超材料光电转换的非制冷、超快红外探测器件；发展基于各向异性激元表面波或表面模的新型低损耗高信息量二维表面波器件，扩展表面波的信息承载能力。

考核指标：太赫兹二次谐波超材料工作频段 0.3THz~5.0THz，二阶非线性极化率高于 $5 \text{ nm}/\text{V}$ ，响应时间小于 1 ns。光电探测超材料器件实现红外波段信号探测，非

制冷条件下工作温度不低于 290K。新型低损耗高信息量二维表面波器件工作波段 488~780nm，支持两种不同自旋态的表面波的传播并具有区分两种自旋态的能力，损耗低于 3dB/10 μ m。

4.4 声学超构材料及集成器件（共性关键技术）

研究内容：面向高端技术装备振动与噪声控制的重大需求，开发声学超材料设计技术，发展基于 3D 打印等先进制造手段的声学超材料制备方法，研发具备宽带、低频、全向等优异吸声、隔声特性的声结构功能材料和基于拓扑声学的全固态集成声学器件，实现基于超材料的低频声波定向传输；开发有效提高超声穿透性能并实现高分辨颅脑超声成像的双负参数声学超材料。

考核指标：声学超构材料的工作频带范围 20~800 Hz，厚度 \leq 30 mm，其中吸声超材料实现设计带宽内吸声系数 \geq 0.85、平均值 \geq 0.95，隔声超材料实现设计带宽内插入损失 \geq 20 dB、平均值 \geq 30 dB。中频超构声学器件的工作频率 \geq 100 MHz，室温品质因子 $Q\geq 10^4$ ，高频超构器件的工作频率 \geq 3 GHz，室温品质因子 $Q\geq 5\times 10^3$ ，滤波器带宽的可设计范围优于 0~3%，带外抑制 \geq 40 dB，插入损耗 \leq 5 dB。

5. 特种与前沿功能材料

5.1 苛刻环境用润滑密封材料与技术（共性关键技术）

研究内容：针对高端装备服役环境复杂化、工况极端化、核心指标极致化、性能要求功能化等发展趋势，开发耐高温动密封材料技术，研制减摩耐磨耐蚀功能一体化材料和抗辐

照耐磨润滑材料，突破苛刻润滑密封设计方法和润滑密封材料可控制备技术，满足高端装备极限设计要求，取得重大工程应用。

考核指标：耐高温动密封材料技术：用于燃油泵和航天发动机，高温 350°C、高速（30m/s）、5000h 零泄漏，宽温域 25°C~1300°C 下摩擦系数 ≤ 0.35 。减摩耐磨耐蚀功能一体化材料：用于航空发动机，耐盐雾 $\geq 1000\text{h}$ 、宽温域（-55~300°C/-55~650°C）、摩擦系数 ≤ 0.30 。抗辐照耐磨润滑材料：用于反应堆控制系统， $10^{21}/\text{m}^2$ 粒子辐照环境离位损伤 5dpa 下润滑薄膜耐磨寿命 $\geq 1 \times 10^7$ 转。

5.2 可反复化学循环生物降解高分子材料（共性关键技术）

研究内容：针对一次性使用塑料制品废弃后难回收所造成的资源浪费和环境污染问题，研制满足不同力学性能和耐热性能需要的、可实现高效化学回收循环并且可完全生物降解的聚对二氧环己酮(PPDO)、聚己内酯(PCL)、聚乳酸(PLA) 等高分子材料，突破单体与聚合物的可控绿色合成、高单体选择性的聚合物高效解聚、回收单体的分离纯化等关键技术，开展单体、聚合物合成、聚合物解聚回收单体的中试和示范生产技术研究。

考核指标：形成年产能达百吨级 PPDO、千吨级 PCL、万吨级 PLA 等 3 种生物降解高分子材料的单体与聚合物的合成能力。PPDO：拉伸强度 $\geq 40\text{ MPa}$ ，断裂伸长率 $\geq 300\%$ ，解聚单体回收率 $\geq 95\%$ ，回收单体再聚合 PPDO 分子量 ≥ 180

KDa; PCL: 拉伸强度 ≥ 20 MPa, 断裂伸长率 $\geq 500\%$, 解聚回收单体回收率 $\geq 95\%$, 循环回收单体再聚合 PCL 分子量 ≥ 80 KDa; PLLA: 拉伸强度 ≥ 60 MPa, 解聚回收左旋丙交酯: 回收率 $\geq 95\%$, 光学纯度 $\geq 98\%$, 循环回收单体再聚合 PLLA 分子量 ≥ 160 KDa。

5.3 低环境负荷无机胶凝材料（典型应用示范）

研究内容: 面向现代都市、高速交通、重大公共安全设施材料高性能化和低环境负荷双控需求, 以无机胶凝材料全生命周期环境负荷最低为目标开展生态设计, 研究低品位/非传统原料活化与有害组分固化/钝化、高温反应过程强化与污染排放抑制、材料应用成型速率调控以及流程多维监控等关键技术, 发展出低环境负荷的无机胶凝材料, 并在重大基础设施建设中进行示范应用。

考核指标: 无机胶凝材料原料反应活性提高 10%以上, 有害组分固化率 90%以上; 高温反应过程热效率提高 5%以上、NO_x 等污染排放降低 75%以上; 无机胶凝材料工作性能满足施工要求, 力学性能和耐久性能提高 10%; 保证无机胶凝材料生产和使用全流程节材节能减排, 综合环境负荷降低 10%以上、资源利用效率提升 10%以上、高质循环服役寿命提升 15%以上。

6. 材料基因工程应用技术

6.1 数据驱动的新型高性能功能材料智能化研发与应用（共性关键技术）

研究内容: 针对功能材料成分工艺敏感、数据稀疏和高

噪音的特点，基于不确定量化分析，发展功能材料数据质量清洗和控制技术，建立评估准则，建设包含不确定分析的典型功能材料高精度专题数据库；发展适用于功能材料的物理化学描述符，开发基于材料领域知识的功能材料特征参量优化筛选算法，基于因果关系挖掘技术，构建具有物理可解释性的材料特征参量与目标性能的机器学习模型和数学表达；发展基于主动学习的多目标自适应协同优化理论、算法和软件，耦合高通量实验迭代，实现功能材料性能的多目标智能优化；研发材料高通量计算与大数据技术相互融合和迭代的新型功能材料智能设计技术，在固态电池、超构材料和固态相变制冷材料等研发中进行应用，研发出具有自主知识产权和应用前景的新型高性能功能材料。

考核指标：形成 3 项以上材料数据质量评估与控制技术和准则；建成材料高通量计算与大数据有机融合的新型功能材料智能设计平台和专题数据库，数据量>100 万条，满足 5 类以上典型功能材料智能设计的需求；形成 3 项以上功能材料特征参量优化筛选方法、多目标优化方法，研发出 3~5 种具有自主知识产权的新型高性能功能材料，1 种以上材料获得应用；申请软件著作权登记不少于 3 件。

6.2 新型膜材料的理性设计与集成制备（基础研究）

研究内容：针对气体分离用膜材料的巨大需求，从材料基因工程理念出发，以 MOF/COF 膜材料为对象，探索新型膜材料的高通量计算设计、高通量制备与表征方法等材料基因工程关键技术；结合多层次模拟计算方法，开发膜材料多

组元热力学和动力学数据库；研究膜材料高通量计算方法和筛选方案以及基于模拟计算的制备工艺优化；建立新型膜材料的组元、结构与制备工艺集成设计方法；发展出具有自主知识产权的新型高效膜材料，面向典型气体分离开展应用示范。

考核指标：建立包含 150 万种以上 MOF 和 COF 典型分子结构的数据库；开发每小时可组装出 7 万种以上材料的高速材料构筑算法和高性能筛选模拟方法，形成基于材料基因工程的新型膜材料设计系统与计算机软件；针对典型气体环境分离，进行验证性应用，开发 1~2 类膜气体渗透速率 ≥ 1000 GPU 的新型 MOF/COF 膜材料，分离性能全面达到同期同领域的国际先进水平；申请软件著作权登记不少于 3 件。

6.3 高端集成电路引线框架铜合金材料研发（典型应用示范）

研发内容：针对电子信息技术对高性能引线框架铜材的巨大需求，通过建立高强高导铜合金材料数据库，采用集成计算与大数据相结合的方法，实现高强高导铜合金成分筛选和优化，设计出新型高性能低成本 Cu-Ni-Co-Si 系引线框架材料和蚀刻框架用高强高导铜铬系材料；开发新型合金制备关键技术，采用材料基因工程方法，建立高性能和低成本引线框架铜合金材料成分、工艺、组织和性能关系，突破合金的熔铸、加工成形、时效、表面质量、成品残余应力控制等工程化关键技术；研发工业化生产线，开展引线框架应用性能（折弯、冲制、蚀刻、电镀、抗氧化等）研究。

考核指标： 高端引线框架用铜合金带材厚度 0.08mm~0.3mm、宽度 600mm 以上，厚度公差 $\pm 2\%$ 、宽度挠曲 $\leq 0.05\text{mm}$ 、粗糙度 $\leq 0.10\mu\text{m}$ ；高性能低成本 Cu-Ni-Co-Si 系引线框架材料：抗拉强度 $\geq 880\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 850\text{MPa}$ ，导电率 $\geq 45\% \text{IACS}$ ，弹性模量 $\geq 125\text{GPa}$ ，软化温度 $\geq 500^\circ\text{C}$ ，Co $\leq 1\text{wt}\%$ ，成材率 $\geq 50\%$ ，建设年产 5 千吨级生产线；蚀刻框架用高强高导铜铬系材料：抗拉强度 $\geq 600\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 560\text{MPa}$ ，导电率 $\geq 75\% \text{IACS}$ ，弹性模量 $\geq 125\text{GPa}$ ，软化温度 $\geq 500^\circ\text{C}$ ，残余应力 $< 35\text{MPa}$ ，蚀刻后扭曲 $< 0.5\text{mm}$ 、侧弯 $< 0.04\text{mm}$ ，形成年产千吨的生产能力。

6.4 基于材料基因工程的多铁性材料的性能调控（共性关键技术）

研究内容： 面向信息存储领域对多铁性材料的巨大需求，利用材料基因工程的先进理念、方法和技术，探索多铁性序参量从相互排斥到相互融合的可能方案；深入研究多铁性材料中多重序参量共存、耦合与竞争的微观机理，探索由此诱发多铁性的新原理、发现新材料；发展用于多铁性材料性能预报与设计的高通量计算模型和方法，显著增强铁电性、磁性与磁电耦合效应；发展多铁性材料快速合成与制备技术，制备各类结构与成分可控的强磁电耦合多铁性新材料及其异质结，并对其结构和多场耦合性能进行精确表征；阐明多铁性在外场中的演化和调控机制，构筑基于新材料的原型器件。

考核指标： 突破 2 项以上多铁性新材料设计和制备的新

原理、新方法和新技术，研究出 2~3 个（近）室温强磁电耦合单相多铁性材料新体系；揭示多铁性材料中铁性序参数共存的微观机制，设计出不少于 2 种具有拓扑磁电畴的多铁性异质结构；构筑超低功耗($<0.01\text{pJ/bit}$)、快速处理($<10\text{ns}$)的多态非易失存算一体新原型器件；申请软件著作权登记不少于 2 件。

6.5 可控应变率加载功能梯度材料的高通量设计与动态评价技术（共性关键技术）

研究内容：针对重大工程对增强关键材料在多应变率载荷下服役过程中的可靠性和安全性等重大需求，开展功能梯度材料的组元体系设计与筛选，确定材料密度、波阻抗以及弹性常数等的变化范围；构建功能梯度材料设计参数的数据库；阐明材料波阻抗分布与加载应变率之间的关联以及实现可控应变率加载功能的物理机制；实现功能梯度材料可控应变率加载功能的高通量设计；建立面向典型可控应变率加载功能梯度材料的高通量实验评价技术。

考核指标：建立多材料体系、宽组成范围、可控应变率加载功能梯度材料设计参数的数据库；构建功能梯度材料的高通量、多尺度计算平台，实现 $\geq 10^2$ 级的并发式高通量计算；研制 3~5 种具有可控应变率加载功能的梯度材料并且材料前后端材料的密度倍差 $\geq 10^2$ ，最低密度小于 0.15 g/cm^3 ；建立应变率范围为 $10^4\sim 10^6/\text{s}$ ，加载应力达到 100GPa 量级的可控应变率加载高通量评价技术；申请软件著作权登记不少于 3 项。

7. 青年项目

7.1 新型高密度储氢材料

研究内容：针对金属氢化物热力学和动力学制约，探索基于多策略改性的新型制备技术和新机制、新理论，发展高密度储氢材料新体系；研究新体系下的材料组成、维度、晶型、形貌与材料吸/放氢热力学和动力学性能的关系，掌握相应调控方法。

考核指标：提出 2~3 种改善储氢性能新策略、新理论，发展出 2~3 种储氢材料新体系，2~5 种新型储氢材料，其可逆容量比现有体系提高 30%以上。

7.2 限域传质效应的分离与催化材料设计制备

研究内容：研究分子、离子等在特定纳微结构中的超常行为，突破分离材料的选择性和渗透性相互博弈的瓶颈；研究具有限域效应的分离、催化材料微结构形成机理及调变规律；研究分子结构设计与调控、微结构的多层次调控和优化方法；构建适合水、离子、气体分子等传递通道，开发原创性的分离膜材料和单原子催化专有制备技术。

考核指标：发展出变革性分离膜材料，分离性能呈现倍增效益，形成限域传质分离膜应用范例；发展出单原子催化材料，催化性能显著提升，形成单原子催化应用范例。

7.3 航空燃油用聚结分离材料及其装置研究

研究内容：针对航空喷气燃料聚结分离用关键材料，解决滤材在低界面张力、水滴粒径小、流量大的条件下航空喷气燃料中水滴难以分离的难题，研究航空喷气燃料添加剂对水滴聚结性能及材料润湿性能的影响，开发聚结分离关键材

料的结构设计方法，研制高效率、高纳污容量的聚结分离关键材料及工程化制备技术和聚结分离装置。

考核指标：聚结分离装置的纳污容量 ≥ 1.43 g/(L/min 额定流量)，滤后燃料的洁净度指标：游离水含量 < 15 mg/L，固体杂质含量 < 0.26 mg/L，纤维含量 < 10 根/L。

7.4 熵调控合金新材料及其微纳结构设计

研究内容：针对抗震防灾安全监控和生物医用领域对高灵敏度传感材料的需求，发展基于成分和原子堆垛结构的熵调控方法，研究熵对应力阻抗效应、电化学活性、生物相容性、微纳形貌形成过程的影响规律和机制，研制熵调控合金传感材料，构筑多形态、多层次微纳拓扑形貌，探索熵调控合金材料在安全监控和生物传感器中的应用。

考核指标：开发出 3~5 种熵调控合金材料，构型熵可调范围 ≥ 5 J/(mol·K)；100MPa 下应力阻抗比 $\geq 100\%$ ；单层级拓扑形貌的特征尺寸在 10nm~10 μ m 范围内可调，多层次拓扑形貌的骨架 $\geq 5\mu$ m、孔径 ≤ 15 nm，比表面积 ≥ 50 m²/g，电化学或光学检测灵敏度比无微纳拓扑形貌的同成分熵调控合金提高 5 倍以上。

7.5 超高储能密度电介质材料及器件

研究内容：利用材料的熵作为新的调控维度，开发超高储能密度电介质材料，在若干典型高熵体系中实现储能性能的大幅提升，揭示高熵电介质材料在强电场下的极化行为、应力变化、热、电失效等物理过程与其微观组分和结构的关系，建立实现性能提升的理论基础和设计范式，发展新材料

的精细、均匀微结构的制备技术，开发多层陶瓷电容器等原型器件，初步实现实用化。

考核目标：发展 2 种以上高熵电介质储能材料，其薄膜材料（厚度 0.5~1 μm ）的储能密度不低于 120 J/cm³，综合性能超过现有无机电介质薄膜；基于上述材料研制出大容量高储能密度陶瓷介质电容器，实现储能密度不低于 25J/cm³，效率达到 80%以上，能量密度在 10⁶ 次充放电循环后衰减 $\leq 10\%$ ，综合性能超过现有多层陶瓷电容器。

7.6 数据中心液冷热管理材料研发与应用示范

研究内容：围绕数据中心大量数据吞吐和运算所带来的能耗和散热等难题，研究数据中心液冷热管理材料的结构设计、主体化合物合成与纯化规律、分子量调控与端基稳定化机制；发展基于过程强化技术的主体化合物宏量制备新技术，建立千吨级制备示范装置；基于数据中心热仿真分析与液冷模式流动场模拟研究，开展数据中心热管理运行测试研究并建立新材料的应用示范。

考核指标：实现面向数据中心液冷技术应用的环境友好型热管理材料稳定宏量化制备，与基材兼容性好；在 10GHz 条件下，介电常数 $DK \leq 2$ ，损耗因子 $DF \leq 0.05$ ；沸点 $\geq 130^\circ\text{C}$ ，导热系数 $\geq 0.3\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，比热容 $\geq 900\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

“新型显示与战略性电子材料”重点专项

2021 年度项目申报指南建议

(征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“新型显示与战略性电子材料”重点专项。本重点专项总体目标是：面向国家产业安全、战略产品及重大工程建设需求，以满足关键领域重点电子材料急需为目标，突破新型显示产业应用关键核心技术，打通创新链，突破战略性电子材料制备与应用各环节的共性关键技术，保障我国信息、能源、交通、高端装备等领域核心电子材料和器件的自主供给。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署遵循“基础研究、共性关键技术、典型应用示范”全链条创新设计、一体化组织实施原则，拟围绕新型显示材料与器件、第三代半导体及前沿电子材料与器件、大功率激光材料与器件 3 个技术方向，启动 30 个指南任务。

1. 新型显示材料与器件

1.1 蒸镀 OLED 柔性显示产业化应用示范（典型应用示范）

研究内容：面对蒸镀 OLED 柔性显示产业化应用，开发新型红/绿光材料、高激子利用率蓝光材料、高性能主体材料、发

光辅助材料、电子/空穴传输材料和光耦合层材料等蒸镀 OLED 关键材料；开发高迁移率、高稳定性、高电流开关比的高性能氧化物半导体新材料和 TFT 器件新结构及制备工艺；开发应用于中小型柔性 OLED 显示触控及大尺寸的光感应显示微系统；开展相应的器件结构优化设计，实现蒸镀 OLED 材料和高性能氧化物半导体材料的批量化制备、柔性 OLED 触控一体化和重大应用示范。

考核指标：公斤级量产化蒸镀 OLED 客体材料纯度 $\geq 99.5\%$ ，蒸镀 OLED 其它材料纯度 $\geq 99.9\%$ ，在产线高温蒸镀 240 小时以后没有明显劣变。在电流密度 10 mA/cm^2 条件下测试，蒸镀 OLED 器件实现如下性能：蓝光在 $\text{CIE-}y < 0.05$ 下电流效率 $\geq 8.5 \text{ cd/A}$ 、寿命 $\text{LT}_{95} \geq 1000$ 小时，绿光在 $\text{CIE-}y \geq 0.70$ 下电流效率 $\geq 170 \text{ cd/A}$ 、寿命 $\text{LT}_{95} \geq 1500$ 小时，红光在 $\text{CIE-}x \geq 0.68$ 下电流效率 $\geq 68 \text{ cd/A}$ 、寿命 $\text{LT}_{95} \geq 1600$ 小时。TFT 阵列器件：场效应迁移率 $\geq 40 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，电流开关比 $\geq 10^9$ ；器件稳定性：正栅压应力下阈值电压漂移 $< 0.5 \text{ V}$ @ $V_{\text{gs}} = 20 \text{ V}$ ， $V_{\text{ds}} = 0.1 \text{ V}$ ，应力时间 1 小时，温度 = $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ；负栅压光照应力下阈值电压漂移 $< 2.0 \text{ V}$ @ $V_{\text{gs}} = -20 \text{ V}$ ， $V_{\text{ds}} = 0.1 \text{ V}$ ，应力时间 1 小时，温度 = $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ，光照（白光 LED） $\geq 10000 \text{ cd/m}^2$ 。光电屏性能指标：传感器阵列 640×360 ，可根据屏幕大小进行分辨率扩展；扫描采样频率 $\geq 120 \text{ Hz}$ ；单采样 IC ≥ 256 通道，通道响应时间 $< 16 \text{ } \mu\text{s}$ ，功耗 $< 0.5 \text{ W}$ ，ADC 采样精度 12 bits。蒸镀 OLED 材料和高性能氧化物半导体新材料实现批量化制备，导入量产线应用。申请发明专利 ≥ 50 件，其中 PCT 专利 ≥ 10 件。

1.2 印刷 OLED/QLED 柔性显示产业化关键技术（共性关键技术）

研究内容：研究印刷 OLED/QLED 材料与墨水配制，开发可量产化导入的新型 OLED/QLED 器件结构及印刷工艺；开展具有独立可控自主知识产权的阵列喷头、高稳定性墨液供应控制装置等高性能印刷装备技术的研究，建立 G4.5 RGB 喷墨打印平台与工艺测试系统；实现材料批量化制备并导入高世代面板产线。

考核指标：在亮度 1000 cd/m^2 条件下测试，印刷 OLED 显示器件的性能指标为：蓝光在 $\text{CIE-y} < 0.06$ 下电流效率 $\geq 5.5 \text{ cd/A}$ 、寿命 $\text{LT}_{95} \geq 350$ 小时，绿光在 $\text{CIE-y} \geq 0.70$ 下电流效率 $\geq 125 \text{ cd/A}$ 、寿命 $\text{LT}_{95} \geq 10000$ 小时，红光在 $\text{CIE-x} \geq 0.68$ 下电流效率 $\geq 48 \text{ cd/A}$ 、寿命 $\text{LT}_{95} \geq 8000$ 小时；印刷 QLED 显示器件的性能指标为：蓝光在 $\text{CIE-y} < 0.06$ 下电流效率 $\geq 8.5 \text{ cd/A}$ 、寿命 $\text{LT}_{95} \geq 300$ 小时，绿光在 $\text{CIE-y} \geq 0.70$ 下电流效率 $\geq 120 \text{ cd/A}$ 、寿命 $\text{LT}_{95} \geq 15000$ 小时，红光在 $\text{CIE-x} \geq 0.68$ 下电流效率 $\geq 60 \text{ cd/A}$ 、寿命 $\text{LT}_{95} \geq 15000$ 小时。印刷装备的性能指标为：墨滴落点精度沿打印方向 $< \pm 7 \mu\text{m}$ ，垂直打印方向 $< \pm 10 \mu\text{m}$ ，喷印行走速率 $\geq 200 \text{ mm/s}$ ，高分辨率阵列喷头与控制系统实现 $< 1 \text{ pL}$ 液滴，阵列打印 $\geq 600 \text{ ppi}$ ，开发出 G4.5-RGB（基板尺寸 $730 \text{ mm} \times 920 \text{ mm}$ ）印刷装备，在其上实现 30 寸、分辨率 $\geq 100 \text{ ppi}$ 柔性显示样机。印刷 OLED 材料实现批量化制备并导入高世代产线应用，印刷 QLED 材料实现产品化验证。申请发明专利 ≥ 50 件，其中 PCT 专利 ≥ 10 件。

1.3 Micro-LED 显示外延与芯片关键技术（共性关键技术）

研究内容：研究大尺寸衬底上低缺陷密度、高波长均匀性、Micro-LED 外延生长技术，开展小注入条件下 Micro-LED 量子效率的提升机制和实现方法，解决 Micro-LED 尺寸效应、边缘效应以及低损伤刻蚀和钝化修复技术难题，开发高均匀性、高效率的 Micro-LED 外延片和 Micro-LED 芯片；发展驱动芯片与 Micro-LED 芯片集成技术，开发单色 Micro-LED 显示样机。

考核指标：大尺寸衬底（ ≥ 6 英寸）上红、绿 Micro-LED 波长偏差 $< \pm 2$ nm，蓝 Micro-LED 波长 $< \pm 1$ nm；芯片尺寸 < 5 μm ，在 0.1 A/cm^2 下，蓝光、绿光和红光 EQE 分别 $\geq 35\%$ 、 25% 和 10% ，良率 $\geq 99\%$ ；蓝光（ $465 \pm 5 \text{ nm}$ ）FWHM $< 20 \text{ nm}$ ，绿光（ $525 \pm 5 \text{ nm}$ ）FWHM $< 25 \text{ nm}$ ，红光（ $630 \pm 5 \text{ nm}$ ）FWHM $< 22 \text{ nm}$ ；单色 Micro-LED 显示样机：尺寸 ≥ 0.5 英寸，分辨率 ≥ 2000 dpi，亮度 $\geq 6000 \text{ cd/m}^2$ ，灰度等级 ≥ 10 bits；申请发明专利 25 项，其中 PCT 专利 5 件。

1.4 高亮度高对比度全彩 Micro-LED 显示关键技术（共性关键技术）

研究内容：开展针对 Micro-LED 显示需求的高效芯片制备工艺研究；发展适用于 Micro-LED 显示的低温共晶金属键合材料和工艺，突破无衬底 Micro-LED 芯片巨量转移和玻璃基驱动背板键合技术；开展非接触 EL 方式实现 Micro-LED 器件高效缺陷检测技术研究，突破高亮度和高对比度的驱动

技术，开发高性能全彩化 Micro-LED 显示屏，并实现工程化应用。

考核指标：尺寸 ≥ 13 英寸，分辨率 $\geq 1920 \times 1080$ ，像素间距 $< 150 \mu\text{m}$ ，芯片尺寸 $< 30 \mu\text{m}$ ，亮度 $\geq 4000 \text{ cd/m}^2$ ，均匀性 $\geq 80\%$ ，灰度等级 $\geq 10 \text{ bits}$ ，对比度 $\geq 1000000:1$ ；申请发明专利 25 项，其中 PCT 专利 5 件

1.5 超高分辨率 LCoS 空间光调制器关键技术(共性关键技术)

研究内容：研究超高分辨率、快速响应的空间光调制器设计、制备与封测关键技术，解决像素串扰、材料匹配、驱动控制、时间波动、影像模糊、空间形变等关键问题，制备出高性能相位型和振幅型 LCoS 器件；研究 LCoS 芯片与三基色 LD 的高效率匹配技术；研究基于 LCoS 空间光调制器的光学引擎架构设计和优化，并实现整机集成测试与表征。

考核指标：开发出满足激光显示整机应用的超高分辨率 LCoS 空间光调制器，分辨率 4K/8K，像元尺寸 < 3.5 微米，帧频速度 $\geq 120 \text{ Hz}$ ，开口率 $\geq 85\%$ ，器件有效区域 $\geq 0.6''$ （4K）/ $1.2''$ （8K），反射率 $\geq 80\%$ ，对比度 $\geq 2000:1$ ，寿命 ≥ 30000 小时。申请发明专利 ≥ 25 件，其中 PCT 专利 ≥ 5 件。

1.6 无载流子注入纳米像元电致发光显示关键材料与器件(基础研究)

研究内容：研究无电学接触、无载流子注入纳米像元电致发光器件工作机制，解析限域载流子束包的振荡、跃迁、光子辐射原理；研究面向无电学接触、无载流子注入模式纳米发光

材料的设计制备与纳米尺度图案化技术；开展器件结构优化设计，研发具有高电场耦合系数、高载流子产生率、高载流子增益系数的耦合腔和超表面等纳米倍增结构；突破像元级驱动技术与集成工艺，制备原型样屏；探索无电学接触、无载流子注入工作模式在发光芯片非接触检测领域的示范应用。

考核指标：纳米发光材料尺寸 $<300\text{ nm}\times 300\text{ nm}$ ；倍增技术促成器件亮度提升率 $\geq 500\%$ ；研制出红、绿、蓝光单色纳米像元电致发光显示原型样屏， $\text{ppi}\geq 30000$ ，交流驱动电压峰值 $<20\text{ V}$ ，像元尺寸（包含发光单元和驱动单元） $<500\text{ nm}\times 500\text{ nm}$ ；发光芯片无接触检测准确率 $\geq 99.99\%$ ；形成无电学接触、无载流子注入发光器件及纳米发光显示的表征测试与评价方法；申请发明专利 ≥ 25 件，其中PCT专利 ≥ 5 件。

1.7 超薄宽视角光场显示技术与系统（共性关键技术）

研究内容：研究面向光场显示的变参量结构设计与构筑方法，解决传统多视角三维显示的视角反转、周期重复性视点排布和色彩漂移问题，突破基于微纳结构的视角调控器件和超薄指向性光源关键技术；研究基于柔性/曲面显示屏的光场显示方法，突破变参量微纳结构光刻核心技术，开发超薄宽视角向量光场显示系统及工程化技术。

考核指标：彩色动态三维显示，具有连续运动视差的视角范围 $\geq 150^\circ$ ，显示幅面 ≥ 27 英寸，三维显示系统厚度 $<100\text{ mm}$ ；3D图像深度 $\geq 0.4\text{ m}$ ，刷新速率 $\geq 30\text{ Hz}$ ；柔性视角调控器件可弯曲程度 $<1700\text{ R}$ ；自主变参量微纳结构光刻调控精度 $<1\text{ nm}$ ，实现超薄宽视角向量光场显示示范应用。申请发明专利 ≥ 30 件，

其中 PCT 专利 ≥ 6 件。

1.8 彩色电子纸显示材料与器件（共性关键技术）

研究内容：研究高性能界面功能材料、印刷电子纸墨水材料和界面耦合机制，开发高可靠电子纸显示器印刷制备工艺和高色域显示器件集成技术及驱动系统；研究高效率、高均一性电子纸显示墨水填充、封装核心设备；突破印刷电子纸显示关键材料瓶颈及印刷制程核心技术，实现广色域、高亮度、低功耗电子纸显示器件。

考核指标：彩色电子纸显示器尺寸 ≥ 10 英寸，彩色显示色域 $\geq 50\%$ NTSC，响应时间 < 30 ms，分辨率 ≥ 180 ppi，能耗 < 10 mW/平方英寸，寿命 ≥ 1.5 万小时；研制自主知识产权的电子纸显示墨水填充封装关键装备：成膜均匀性 $\pm 5\%$ ，封装对位精度 ± 5 μm ；申请发明专利 ≥ 30 件，其中 PCT 专利 ≥ 5 件。

2. 第三代半导体及前沿电子材料与器件

2.1 面向新能源汽车应用的 SiC 功率电子材料与器件（共性关键技术）

研究内容：针对电动汽车对大电流、高可靠性功率电子材料、芯片的需求，开展车规级 SiC 功率电子外延材料、芯片、封装技术研究及示范应用。研究高质量、低缺陷密度 SiC 外延材料生长和量产技术；开展 SiC MOSFET 和二极管结构优化设计，攻克高可靠栅极氧化、低损伤离子注入等关键器件工艺，开发低比导通电阻、高可靠的 SiC MOSFET/二极管集成功率芯片；研究提升芯片制造良率的方法和技术，攻克大面积 SiC 芯片制备技术，实现批量生产；研究低寄生参数模块设计方法、

高性能散热材料和封装工艺，开发高频、高功率密度、高散热性能、高可靠性 SiC 功率模块；开发基于 SiC 模块的高功率密度车用变流器，提升整车效率和动力性能，实现在新能源汽车中的示范应用。

考核指标：实现车规级 SiC 功率电子外延材料、芯片产业化，开发出 1200 V 电压等级的大电流高可靠性 SiC 功率电子芯片，MOSFET 器件阈值电压 ≥ 3 V，沟道迁移率 ≥ 25 cm²/V·s，短路时间 ≥ 5 μ s，比导通电阻 < 3 m Ω ·cm²，单芯片导通电流 ≥ 200 A；开发出 1200V 电压等级大电流、低热阻 SiC 功率模块，电流 ≥ 800 A；开发出基于 SiC 模块的电机驱动系统，功率密度 ≥ 40 kW/L，最高效率 $\geq 99\%$ ，实现全国产 SiC 模块在新能源汽车上的示范应用；申请发明专利 ≥ 10 件，制定国家/行业/团体标准 ≥ 2 项。

2.2 面向大数据中心应用的 GaN 基高效功率电子材料与器件（共性关键技术）

研究内容：研究大尺寸 Si 衬底上 GaN 薄膜及其异质结构的大失配外延生长和缺陷/应力控制技术；研究材料中点缺陷、杂质对器件性能的影响规律及其表征方法；研究器件阈值电压漂移机制及栅压摆幅提升技术；研究高耐压、低导通电阻及高可靠性器件设计与产业化制备技术；研究 GaN 基高压桥式电路及其驱动电路集成技术；研究电压/电流振荡抑制技术和电磁干扰改善技术以及高转化效率电路拓扑，推动 GaN 基高效功率电子材料与器件在数据中心服务器领域的应用。

考核指标：实现 650V 电压等级国产 GaN 材料和功率器件规模化生产，大尺寸 Si 衬底上 GaN 外延层位错密度 $< 1 \times 10^8$

cm², 异质结构方块电阻 < 300 Ω/sq, 均匀性 < 3%; 电压等级 650 V 的 GaN 基平面结构器件比导通电阻 < 4 mΩ·cm², 导通电阻 < 30 mΩ; 整机功率 ≥ 1.5 kW 的 GaN 基 AC-DC(220 V-48 V) 电源实现系统工作频率 ≥ 300 kHz, 整机最高转换效率 ≥ 98%, 功率密度 ≥ 100 W/in³, 输出电压纹波 < 0.5%, 电流 THD < 5%, 实现在数据中心服务器领域的示范应用; 申请发明专利 ≥ 10 件, 制定国家/行业/团体标准 ≥ 2 项。

2.3 5G 移动通讯基站用 GaN 基 Sub-6 GHz 及毫米波材料与器件研发 (共性关键技术)

研究内容: 开展大尺寸半绝缘 SiC 衬底上 GaN 基异质结构外延的工程化研究, 开展以 SiC 为衬底的 GaN 基 Sub-6 GHz 射频电子器件的产业化研究, 提升器件性能及工艺稳定性和一致性; 突破高效率、高线性度和高集成度等技术瓶颈, 研制 26 GHz 和 39 GHz 频段射频前端芯片; 研究适用于 GaN 基射频功放的多通道数字预失真线性化技术和高集成、超宽带、小型化射频电路, 完成系列化 5G 基站用射频功放产品研发, 并实现批量应用。

考核指标: 大尺寸 SiC 衬底上 GaN 基异质结构外延片翘曲 < ±50 μm, 方块电阻 < 300 Ω/sq, 不均匀性 < 3%; Sub-6 GHz 功放模块 2515-2675 MHz、3.4-3.6 GHz、4.8-5.0 GHz 漏极效率分别 ≥ 52%、46%、44% @ 39 dBm, 线性增益 ≥ 10 dB, 饱和功率 ≥ 47 dBm; 毫米波前端模块工作频率分别为 24.75~27.50 GHz、37.0~42.5 GHz, 饱和效率 ≥ 20%, 输出功率 ≥ 33 dBm; 申请发明专利 ≥ 10 件, 制定国家/行业/团体标准 ≥ 5 项。

2.4 InGaN 基长波段 LED 关键材料与器件技术(共性关键技术)

研究内容: 面向下一代无荧光粉纯 LED 照明应用, 研究高 In 组分 InGaN 基材料的外延生长、高效率量子结构设计与高光效黄光与绿光 LED 芯片关键技术, 研究无荧光粉多基色 LED 照明封装技术, 开发无荧光粉纯 LED 健康照明新产品。

考核指标: 波长 ≥ 520 nm 绿光 LED, $20\text{A}/\text{cm}^2$ 电流密度下 WPE $\geq 50\%$ 、流明效率 ≥ 240 lm/W; 波长 ≥ 565 nm 黄光 LED, $20\text{A}/\text{cm}^2$ 电流密度下 WPE $\geq 30\%$ 、流明效率 ≥ 180 lm/W; 形成 InGaN 基长波段 LED 芯片批量生产能力; 推出无荧光粉纯 LED 健康照明新产品, 色温 < 2700 K, 显色指数 ≥ 90 , 灯珠流明效率 ≥ 150 lm/W; 申请发明专利 ≥ 10 件, 制定国家/行业/团体标准 ≥ 2 项。

2.5 新结构、新功能微小尺寸 LED 材料与器件及其在通信/传感领域的应用(共性关键技术)

研究内容: 研究高亮度、高复合速率、高调制带宽、高灵敏度的蓝、绿光微小尺寸 LED 材料和器件制备技术; 研究超高速可见光通信、空间精确定位和成像技术; 研究微小尺寸 LED 柔性阵列芯片制备工艺, 实现在光神经调控、血糖实时监测等医疗健康领域的应用; 攻克国产化车规级高功率、高亮度微小尺寸 LED 材料、芯片及光源模组的产业化技术, 实现在人车信息交互数字化车灯系统的应用。

考核指标: 蓝、绿光 LED 外延片位错密度 $< 5 \times 10^7$ cm^{-3} , 载流子复合衰减时间 < 300 ps; LED 通信芯片 3dB 带宽 ≥ 1.5 GHz, 传输距离 ≥ 10 m, 微小尺寸 LED 阵列 MIMO 通信速率 ≥ 50

Gbps, LED 定位和成像系统精度 $< 1 \text{ cm}$; 医疗健康用柔性 LED 阵列发光峰强度变化率 $< 5\%$ (曲率半径 $< 20 \text{ mm}$); 基于国产材料和微小尺寸 LED 芯片的数字前照灯像素 $\geq 200 \times 60$, 整灯输出光通量 $\geq 3000 \text{ lm}$, 感知系统夜间识别距离 $\geq 300 \text{ m}$, 识别率 $\geq 90\%$, 雨雾雪天识别距离大于 100 m , 识别率 $\geq 80\%$; 实现通信传感、医疗健康、智能交通等领域 3 项以上示范应用; 申请发明专利 ≥ 10 件, 制定国家/行业/团体标准 ≥ 2 项。

2.6 镓系宽禁带半导体新型异质结构高灵敏信息感知材料和器件 (基础研究)

研究内容: 开展镓系宽禁带半导体异质结构材料的高通量计算设计和实验研究, 探索固溶度、微结构、相变、极化、缺陷和杂质等与材料能带结构、载流子输运性质和器件信息感知能力之间的关联规律, 发展材料结构-物理性质-器件性能之间的预测模型; 探索具有超高灵敏度的镓系宽禁带半导体异质结构信息感知材料的可控制备新原理、新方法和新工艺, 研制可用于高场强、强辐射等极端条件下的光电探测、气体传感和生化传感等新型半导体信息感知原型器件。

考核指标: 开发出信息感知材料高效设计筛选技术和计算软件, 高通量计算 ≥ 50000 算例, 筛选准确率 $\geq 90\%$, 研发出高通量实验装置 ≥ 2 台 (套); 发现镓系宽禁带半导体新型异质结构材料 ≥ 3 种, 研制出超高灵敏度半导体信息感知新型原型器件 ≥ 2 种; 在高通量材料设计和复合结构制备领域发展出具有自主知识产权的新技术 ≥ 2 项; 申请发明专利或软件著作权登记 ≥ 10 件。

2.7 大尺寸 SiC 单晶衬底制备产业化技术（共性关键技术）

研究内容：研究大尺寸 4H-SiC 单晶生长与电学性能控制技术，有效提升电学性质一致性和可靠性；研究 SiC 单晶生长的热力学和动力学特性，研究晶体生长过程中杂质、多相和缺陷控制技术，推进大尺寸、低成本 SiC 单晶的产业化。针对 SiC 衬底加工工艺和表面质量、面型参数等关键技术问题，研究高效、低损耗的加工技术和大尺寸 SiC 单晶衬底表面粗糙度控制技术。

考核指标：实现 6 英寸 SiC 衬底材料规模化生产，6 英寸 SiC 衬底（004）晶面的 XRD 摇摆曲线半峰宽 < 45 arcsec，TTV < 10 μm ，WARP < 30 μm ，表面粗糙度 < 0.2 nm；其中半绝缘 SiC 衬底的微管密度 < 0.3 cm^{-2} ，电阻率 $\geq 1 \times 10^{10}$ $\Omega\cdot\text{cm}$ ；导电衬底的微管密度 < 0.1 cm^{-2} ，电阻率 < 0.025 $\Omega\cdot\text{cm}$ ，基平面缺陷密度 < 1000 个/ cm^2 ；8 英寸 SiC 单晶直径大于 200 mm，4H 晶型比例大于 95%，使用面积大于 90%，XRD 半峰宽 < 60 arcsec；申请发明专利 ≥ 10 件，制定国家/行业/团体标准 ≥ 2 项。

2.8 基于高性能忆阻材料的红外智能感知器件研制（基础研究）

研究内容：针对光电感知终端对高功能密度、低功耗及小型化的需求，研究可室温工作的新型红外探测材料设计及性能调控技术；研究基于高性能忆阻材料的突触、神经元器件及其电路配置方案；研究新型红外探测器、忆阻器与外围电路的集成工艺；研究面向智能感知的神经形态计算网络架构，构建多

场景的硬件演示系统。

考核指标：实现忆阻材料体系 ≥ 2 种，忆阻器件编程功耗 < 1 pJ、编程速度 < 50 ns、集成规模 ≥ 16 Mb；神经元电路具有频率/时序编码、自适应调节和可配置的放电模式；开发 ≥ 2 种室温工作的红外探测材料体系，红外传感器探测率 $> 10^{10}$ Jones，红外探测器阵列规模 $\geq 320 \times 256$ ；实现忆阻器与红外探测器的集成；研制感存算一体的红外智能感知硬件系统，实现在探测和目标识别等任务的演示验证；申请发明专利 ≥ 20 件，制定国家/行业/团体标准 ≥ 1 项。

2.9 新型自旋电子材料与高性能存内计算器件研制（基础研究）

研究内容：针对传统电荷型存储器的能效和可靠性瓶颈，突破自旋电子材料物理和器件集成关键核心技术；研究自旋轨道矩全电控驱动自旋翻转物理机制统一模型及其对存内计算特性的调控规律，发展临界翻转电流密度不随器件微缩而显著增加的方法；研究反铁磁材料的电学操控技术及构筑反铁磁自旋器件；开发工业量产可行的高电荷流-自旋流转化效率、低电阻率材料体系和制备方法；建立关键自旋轨道矩材料物性对器件性能调控的工艺库标准；实现全电控新型自旋量子器件存内计算单元结构设计和验证。

考核指标：实现 CMOS 工艺兼容的高电荷流-自旋流转化效率、低电阻率材料体系 ≥ 2 种；实现反铁磁磁矩翻转的临界电流密度 $< 8 \times 10^6$ A/cm²，新型反铁磁自旋器件 ≥ 3 类；完成自旋轨道矩驱动型磁存储器关键材料工艺集成，隧穿磁电阻率

≥150%，能耗 < 1 pJ/bit，写入次数 ≥ 1×10^{12} ，数据保持 ≥ 10 年；实现全电控高能效多态自旋轨道矩驱动磁存储器件单元阵列芯片，演示其读写及高并行存内计算功能；申请发明专利 ≥ 20 件，制定国家/行业/团体标准 ≥ 2 项。

3. 大功率激光材料与器件

3.1 高频大功率激光调制器技术与应用（共性关键技术）

研究内容：探索新型大尺寸高性能电光、磁光晶体生长技术，提升电光晶体电阻率和高频特性，实现高品质 YIG 晶体及大尺寸 TGG 晶体生长；开展高速大口径电光和声光调制器、高速磁光开关、大口径磁光隔离器技术研究；推动电光、声光在超快激光脉冲选单和再生放大、磁光隔离器在高功率脉冲激光、磁光开关和隔离器在重大工程中的应用。

考核指标：BBO 调制器：重频 ≥ 1 MHz，孔径 ≥ $\Phi 4$ mm，插入损耗 < 1%、消光比 ≥ 30 dB、损伤阈值 ≥ $1 \text{ GW/cm}^2 @ 1064 \text{ nm}$ ；KTP 调制器：重频 ≥ 1 MHz，孔径 ≥ $\Phi 15$ mm，插入损耗 < 1.5%、消光比 ≥ 27 dB、损伤阈值 ≥ $800 \text{ MW/cm}^2 @ 1064 \text{ nm}$ ，室温电阻率 ≥ $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ ；RTP 调制器：重频 ≥ 1 MHz，孔径 ≥ $\Phi 8$ mm，插入损耗 < 1.5%、消光比 ≥ 27 dB、损伤阈值 ≥ $800 \text{ MW/cm}^2 @ 1064 \text{ nm}$ 。声光调制器：80 MHz 声光调制器：孔径 ≥ $\Phi 8$ mm，透过率 ≥ 99.6%，衍射效率 ≥ 80%，损伤阈值 ≥ 1 GW/cm^2 ；300 MHz 选单声光调制器：上升/下降时间 < 6 ns，插入损耗 < 3 dB，关断消光比 ≥ 50 dB，偏振消光比 ≥ 18 dB，损伤阈值 ≥ 500 MW/cm^2 。磁光开关、隔离器：TGG 晶体口径 ≥ $\Phi 60$ mm，氟化物磁光晶体口径 ≥ $\Phi 50$ mm；大口径、大功率磁光隔离器口径 ≥ $\Phi 45$ mm，承

受平均功率 ≥ 500 W、透过率 $\geq 93\%$ 、峰值隔离度 ≥ 33 dB@1064 nm；YIG 磁光开关响应速率 < 70 μ s，损耗 < 0.6 dB，尺寸 $< 5.5 \times 4.5 \times 20$ mm³。申请发明专利 ≥ 5 项，制定国家/行业/企业标准 ≥ 2 项。

3.2 高性能 SESAM 材料器件及窄线宽泵浦半导体激光器关键技术（共性关键技术）

研究内容：开展可饱和吸收镜（SESAM）外延材料和生长技术研究，优化可饱和吸收镜时间特性，缩短带间弛豫时间，开发低温生长吸收层材料和离子注入工艺，攻克外延材料生长、检测和表征及镀膜封装等关键技术，提高 SESAM 材料器件性能，开发实用化的低弛豫时间、高损伤阈值的 SESAM 器件；开展窄线宽泵浦激光器外延材料设计、波长稳定、非吸收窗口等研究，拓展 766、780、796、852nm 等新波长，提升窄线宽泵浦激光器性能；开展高均匀、低吸收玻璃的折射率调制度调控机制以及不同应用波长锁波体光栅损耗抑制与应用性能测试研究。

考核指标：半导体可饱和吸收镜（SESAM）：弛豫时间 < 500 fs，损伤阈值 ≥ 3.5 mJ/cm²@1064nm；弛豫时间 < 12 ps，损伤阈值 ≥ 10 mJ/cm²@1064 nm，研制实用化高质量外延材料及商用化器件，实现 SESAM 核心器件国产化应用。窄线宽泵浦半导体激光器：766、780、796、852nm 泵浦 LD，功率 ≥ 10 W，线宽 < 0.05 nm，研制的窄线宽 766 nm 等泵浦激光器实现国产化应用。锁波体光栅：光栅厚度 ≥ 5 mm，反射率 $15\% \pm 5\%$ ，半高宽（FWHM） < 0.05 nm，实现国产化应用。应用验证数量每个

品种 ≥ 2 只，申请发明专利 ≥ 5 件，制定国家/行业/企业标准 ≥ 3 项。

3.3 千瓦级高功率特种光纤激光器（共性关键技术）

研究内容：研究 $1\ \mu\text{m}$ 波段单频光纤激光振荡、放大设计与制作、噪声产生及传递演化机理与抑制，突破线宽压窄技术、频率稳定技术、功率协同放大与稳定技术、光束质量优化技术等，研制出千瓦级低噪声窄线宽单频光纤激光器，支撑引力波探测及空间相干测速等领域应用；研究 $2\ \mu\text{m}$ 波段光纤激光种子源、Tm/Ho 共掺增益光纤激光功率放大、非线性效应抑制、高效热管理等技术，研制出高可靠千瓦级 $2\ \mu\text{m}$ 波段光纤激光器，支撑航空航天发动机燃烧流场诊断等领域的应用。

考核指标： $1\ \mu\text{m}$ 波段单频光纤激光器：工作波长 $\sim 1.0\ \mu\text{m}$ ，输出功率 $\geq 1\ \text{kW}$ ，线宽 $< 10\ \text{kHz}$ ，频率漂移 $< 1\ \text{MHz}$ ，相对强度噪声 $< -160\ \text{dB/Hz}$ ，功率不稳定性 $< 1\%$ ，光信噪比 $\geq 55\ \text{dB}$ ，光束质量 $M^2 < 2$ 。 $2\ \mu\text{m}$ 波段光纤激光器：工作波长 $1.9\sim 2.2\ \mu\text{m}$ ，输出功率 $\geq 1\ \text{kW}$ ，线宽 $< 0.05\ \text{nm}$ ，功率不稳定性 $< 5\%$ ，光信噪比 $\geq 30\ \text{dB}$ ，光束质量 $M^2 < 2$ 。申请发明专利 ≥ 6 件，制定团体标准 ≥ 6 项。

3.4 高功率、高性能极紫外飞秒激光技术（共性关键技术）

研究内容：研究高功率飞秒激光系统中的增益、色散与非线性调控，相干合成及非线性压缩技术；研究飞秒激光在空芯光纤中产生高次谐波的优化与稳定机制；研究飞秒激光时频锁定、紫外波段相位控制与可调谐技术。

考核指标:飞秒激光器:输出功率 ≥ 1 kW,脉冲能量 ≥ 100 μ J,最大可达 1 mJ,重频 100 kHz~10 MHz,脉宽 < 300 fs。EUV 极紫外高次谐波:波长 < 150 nm,输出功率 ≥ 1 mW,脉冲能量 ≥ 1 nJ。宽调谐紫外飞秒光学频率梳:输出功率 ≥ 250 mW,光谱调谐范围 200~400 nm。申请发明专利 ≥ 3 件。

3.5 激光材料及器件在线测试与自动化设计技术（共性关键技术）

研究内容:开展高置信度、高精度、功率密度 TW 级飞秒激光损伤测试研究,构建损伤测试平台。开展上升沿纳秒、加载高压万瓦级电光晶体开关测试研究,构建电光器件测试平台。开展自由曲面建模、折反光线追迹、智能化光学仿真软件研究,构建异构并行的智能化计算库。

考核指标:检测飞秒激光损伤能量密度 ≥ 0.6 J/cm² @515 nm&1030 nm、 ≥ 0.2 J/cm² @343nm,测量不确定度 $< 8\%$,脉宽 < 500 fs;电光晶体消光比 ≥ 40 dB@1053 nm&1064 nm,测量不确定度 $< 10\%$ @30 dB,加载电压 0V~10000V(上升沿 < 15 ns)。具有包含自由曲面的多种面型、折反光线追迹、智能优化等功能。具有矩阵及数值迭代运算、傅里叶变换、图像卷积等异构并行智能化计算库,含 100 余个核函数。技术成熟度 6 级,对标国外 Zemax、Code V 光学设计软件的核心功能,实现国产化应用。申请发明专利 ≥ 5 件,软件著作权 ≥ 3 件,制定国家/行业/企业标准 ≥ 2 项。

3.6 激光与非线性光学晶体高通量制备与表征（基础研究）

研究内容：开发激光与非线性光学材料高通量制备和表征技术及设备，开展材料数据的机器学习研究，建立材料化学组成、晶体结构与电子吸收光谱、荧光光谱和非线性光学响应系数等关键性能之间的构效关系，应用于新型深紫外非线性光学晶体、大尺寸低吸收的中远红外非线性光学晶体、大尺寸波长可调谐的黄光激光晶体、大功率高重频人眼安全波段激光晶体与器件和高质量中红外激光单晶光纤等材料的研制。

考核指标：研制激光和非线性光学材料高通量制备和表征装置 2 台（套）以上，建立基于机器学习的 2 类材料筛选系统。深紫外非线性光学晶体：截止边 $<200\text{ nm}$ 、尺寸 $\geq 4\times 4\times 5\text{ mm}^3$ ；中波红外晶体器件尺寸 $\geq 8\times 8\times 30\text{ mm}^3$ ， $1.06\mu\text{m}$ 处吸收系数 $<0.03\text{ cm}^{-1}$ ， $6\sim 8\mu\text{m}$ 波段激光输出功率 $\geq 5\text{ W}$ ；长波红外晶体器件尺寸 $\geq 8\times 8\times 40\text{ mm}^3$ ， $2.05\mu\text{m}$ 处吸收系数 $<0.03\text{ cm}^{-1}$ ， $8\sim 14\mu\text{m}$ 波段激光输出功率 $\geq 5\text{ W}$ 。黄光激光晶体：尺寸 $\geq \Phi 50\times 50\text{ mm}^2$ ，平均功率 $\geq 5\text{ W}$ ，波长调谐范围 $570\sim 590\text{ nm}$ ； $1.55\mu\text{m}$ 激光晶体：尺寸 $\geq 60\times 60\times 40\text{ mm}^3$ ，峰值功率 $\geq 2\text{ kW}$ ，脉宽 $<5\text{ ns}$ ，重频 $\geq 500\text{ kHz}$ ；中红外激光单晶光纤：直径达百 μm 级，直径均匀性优于 10%，单根光纤激光输出功率 $\geq 50\text{ W}$ 。申请发明专利 ≥ 5 件，制定国家/行业/团体标准 ≥ 2 项。

4. 青年项目

4.1 基于氮化物半导体的纳米像元发光器件

研究内容：研究 Micro-LED 从微米进入纳米尺度、结构从二维进入一维乃至零维的纳米尺度量子结构、光学微腔以及超表面结构的生长与制备方法；研究包括表面等离极化激

元、激子极化激元等准粒子的形成机制与非辐射能量转移机制，探索超自发辐射、受激辐射等发光新机制；研究超高量子效率、超低受激辐射阈值的纳米像元发光器件，探索在微显示方面的应用。

考核指标：衬底上（ ≥ 2 英寸）蓝光纳米像元发光器件：发光单元尺寸 < 500 nm，显示分辨率 ≥ 10000 ppi，发光效率 IQE $\geq 50\%$ ；超辐射发光器件：室温下表面等离子极化激元、激子极化激元的拉比分裂和阈值 < 1 kW/cm²。申请发明专利 10 项，其中 PCT 2 件。

4.2 纳米像元量子点发光材料与器件研究

研究内容：研究新型量子点发光材料制备、结构调控和纳米尺度图案化技术，发展无载流子注入纳米像元量子点发光器件的制备方法与工艺，开展电场调控纳米像元量子点发光器件的性能研究，探索器件工作机理研究，突破纳米像元量子点发光结构与电场驱动关键技术，研制纳米像元量子点发光原型器件。

考核指标：单色纳米像元量子点发光器件，分辨率 640 \times 480，发光单元尺寸 < 800 nm，亮度 ≥ 1000 nit，发光效率 $\geq 10\%$ 。申请发明专利 ≥ 10 件，其中 PCT 专利 ≥ 2 件。

4.3 中高压 SiC 超级结电荷平衡理论研究及器件研制

研究内容：研究 SiC 超级结结构的电荷平衡理论和电场调控机制；研究超级结器件结构参数对器件性能的影响规律和机制，探索具有低比导通电阻的器件结构及实现方法；研究具有高电场调控能力的终端保护结构；研发高深宽比超级结器件关

键工艺技术和实现方法；研制低比导通电阻的 SiC 中高压超级结器件；研究超级结器件的可靠性并进行应用验证。

考核指标：建立起 SiC 超级结器件的电荷平衡基础理论，揭示器件结构参数和工艺条件对电荷平衡效果的影响规律和机制；超级结结构深宽比 $\geq 5:1$ ，器件阻断电压 ≥ 3.3 kV，室温下比导通电阻 ≤ 6 m $\Omega\cdot\text{cm}^2$ ；申请发明专利 ≥ 5 件。

4.4 GaN 基宽禁带半导体与 Si 半导体的单片异质集成方法与技术

研究内容：研究 GaN 基宽禁带半导体晶圆与 Si 晶圆的高强度异质键合技术；研究大尺寸 GaN 单晶薄膜的剥离与转移技术；研究异质集成晶圆上 GaN 基射频电子器件和 Si 半导体逻辑器件的兼容制造工艺技术；研究单片集成 GaN 与 Si 的材料热兼容性和器件电磁兼容性；研究单片集成的 GaN 基器件和 Si 器件的可靠性及其加固方法。

考核指标：GaN 与 Si (100) 半导体单片异质集成晶圆中 GaN 薄膜位错密度 $< 1\times 10^7$ cm $^{-2}$ ，异质结构二维电子气迁移率 ≥ 2000 cm 2 /V \cdot s，方块电阻 $< 400\Omega$ /sq；单片异质集成晶圆上的 GaN 基射频电子器件截止频率 ≥ 40 GHz，6GHz 时输出功率密度 ≥ 3.5 W/mm，功率附加效率 $\geq 50\%$ ；Si (100) NMOS 晶体管的饱和电流 ≥ 100 mA/mm，开关比 $\geq 10^5$ ；申请发明专利 ≥ 5 件。

4.5 GaN 单晶新生长技术研究

研究内容：开展 GaN 单晶衬底材料的新生长技术探索；研究 GaN 液相生长中的成核、传质输运、结晶生长机制；研究 GaN 中背景杂质控制、应力控制等关键技术；研究 GaN 中位

错产生、湮灭、演化机制；研究 GaN 氨热法生长中的杂质控制与光学、电学性能调控技术；研究 GaN 助熔剂生长中的形核控制与大尺寸生长技术。

考核指标：用新生长技术制备的 GaN 单晶直径 ≥ 2 英寸、厚度 ≥ 1 cm，在 2 英寸面积范围内位错密度 $< 1 \times 10^4 \text{ cm}^{-2}$ ；n 型 GaN 单晶衬底电阻率 $< 20 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ ，半绝缘 GaN 单晶衬底电阻率 $\geq 1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ ；申请发明专利 ≥ 5 件。

4.6 面向大功率激光应用的金刚石材料

研究内容：开展单晶金刚石钷元素掺杂技术研究，开发钷源高效导入系统，突破高掺杂浓度关键工艺；探索钷掺杂单晶金刚石激光增益机理，开展金刚石基增益介质激光产生基础研究；开展低缺陷密度大尺寸光学级单晶金刚石拉曼晶体生长技术研究，突破大尺寸生长设备优化、应力控制、杂质及缺陷调控等关键技术；开展金刚石和激光增益介质超高真空表面活化技术研究，突破低界面热阻金刚石基复合增益介质异质集成键合技术。

考核指标：钷掺杂单晶金刚石材料：钷掺杂浓度 $\geq 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ，尺寸 $\geq \Phi 50 \times 5 \text{ mm}^2$ ，其晶面（400）的 XRD 摇摆曲线半高宽 $< 50 \text{ arcsec}$ ，金刚石的一阶拉曼位移半高宽 $< 4 \text{ cm}^{-1}$ 。光学级单晶金刚石材料：尺寸 $\geq 20 \times 20 \times 30 \text{ mm}^3$ ，N、Si 等杂质浓度 $< 1 \text{ ppm}$ ，B 杂质浓度 $< 1 \text{ ppb}$ ，晶面（400）的 XRD 摇摆曲线半高宽 $< 50 \text{ arcsec}$ ，金刚石的一阶拉曼位移半高宽 $< 3 \text{ cm}^{-1}$ ，缺陷密度 $< 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 。金刚石和激光增益介质复合晶体：键合口径 $\geq \Phi 30 \text{ mm}$ ，界面热阻 $< 4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{K/W}$ 。申请发明专利 ≥ 5 件。

4.7 新型生物敏感材料及单细胞智能感知器件研制

研究内容：研究高性能压电薄膜材料的压电极化一致性机制，以及主体化合物合成与制备技术；研究新型压电薄膜材料及关键传感器件的制备及图形化技术；研究新型压电传感材料与微流控芯片技术的片上集成技术，以及基于图像技术的细胞形态学分析技术，实现对单细胞的检测与分选，推动单细胞分析的示范应用。

考核指标：实现基于细胞固有生物物理特性的高灵敏度、无标记性、无损检测方法，检测器件达到单细胞检测分辨率，实现对单个细胞 >5 个角度的多角度形态学分析；器件检测通道 >1 万细胞/分钟，细胞识别准确率 $>98\%$ ；细胞分析检测样机 ≥ 2 款；实现对至少 ≥ 5 种的肿瘤细胞系和 ≥ 3 种的临床细胞样品的实时检测与分析，临床验证实验数 ≥ 500 例；申请发明专利 ≥ 4 件。

“稀土新材料”重点专项 2021年度项目申报指南建议

(征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“稀土新材料”重点专项。本重点专项总体目标是：面向新一代信息技术、航空航天、先进轨道交通、节能与新能源汽车、高端医疗器械、先进制造等高新技术领域对稀土新材料的迫切需求，发展具有我国资源特色和技术急需且不可或缺的稀土新材料，以稀土新材料战略化、高质化、前沿化、平衡化应用为重点，通过加强稀土新材料前沿技术基础、工程化与应用技术创新，提升稀土新材料原始创新能力和高端应用水平，推动我国稀土资源优势向技术和战略优势转变。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署遵循“基础研究、共性关键技术、典型应用示范”全链条创新设计、一体化组织实施原则，拟围绕稀土永磁材料强基及变革性技术、新型高效稀土光功能材料及应用技术、高效低成本稀土催化材料及应用技术、稀土材料绿色智能制备和高纯化技术、稀土物化功能基元材料及应用技术、特种稀土功能材料及专材专用技术、稀土新材料及材料基因工程新技术应用 7 个技术方向，启动 34 个指南任务。

1. 稀土永磁材料强基及变革性技术

1.1 钕铁硼基相调控及性能提升技术（共性关键技术）

研究内容：针对无人机、高端机器人等应用领域的迫切需求，围绕内禀矫顽力与剩磁去耦合的科学问题，开发超高性能钕铁硼永磁材料；开展晶粒细化对钕铁硼磁体综合性能影响研究，解决高内禀矫顽力、高剩磁磁体制备的共性关键技术问题；研究钕铁硼基相成分、跨尺度结构调控、重稀土掺杂与磁性能关联等科学问题，制备超高综合性能磁体。

考核指标：高内禀矫顽力高综合性能磁体取向度 $\geq 99\%$ ，最大磁能积 ≥ 40 MGOe，内禀矫顽力(kOe)+最大磁能积(MGOe) ≥ 80 ；在 200°C 、 10 kGs 外加磁场下 3 h，标准永磁样品热减磁 $< 3\%$ 。高剩磁烧结钕铁硼磁体易磁化方向与难磁化方向磁粗糙度比 ≥ 4.5 ，剩磁 ≥ 14.6 kGs，内禀矫顽力 ≥ 18 kOe，满足器件小型化、高功率密度需求。申请发明专利 ≥ 5 项。

1.2 重稀土极致应用与钕铁硼磁体选区扩散技术（共性关键技术）

研究内容：面向新能源车用低成本、高稳定性磁体应用需求，研究重稀土元素在永磁材料中极致效应，提升重稀土资源高效利用水平，开发微结构重构及高矫顽力磁体的低成本制备技术；研究烧结态、回火态等不同工艺过程重稀土扩散的动力学问题，开发磁体的选区精准渗透及微结构控制技术，在千吨级生产线实现技术推广。

考核指标：实现新能源汽车驱动电机用磁体重稀土减量应用，千吨生产线制备磁体的剩磁 ≥ 12.8 kGs，内禀矫顽力 \geq

28 kOe，镨用量 < 3.5 wt%、铽用量 < 0.6 wt%。低成本、高稳定性稀土永磁体内禀矫顽力温度系数 $|\alpha(H_{cj})| < 0.40 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ 。剩磁温度系数 $|\alpha(B_r)| < 0.08 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ 。建立稀土永磁晶界扩散质量评价技术国家标准，制定稀土永磁高温检测方法国家标准。申请发明专利 ≥ 5 项。

1.3 烧结钕铁硼磁体批量一致性先进制备流程技术（典型应用示范）

研究内容：针对烧结钕铁硼磁体批量一致性差的技术难题，开发材料制备流程各环节的关键技术，重点突破晶界扩散过程的智能转运和靶材的数字化管理技术，实现关键制备节点的智能化，提升材料规模化生产一致性。

考核指标：批量磁体性能一致性，剩磁 $\pm 100\text{Gs}$ （或 $\pm 1\%$ ）和矫顽力 $\pm 500\text{Oe}$ （或 $\pm 2\%$ ）以内，实现晶界扩散过程产品的智能转运及晶界扩散环节的靶材智能监控和寿命预测。建成3000吨烧结钕铁硼制备高自动化及智能化示范线，数控率达到90%，生产效率提高10%，单产能耗降低7%。申请发明专利 ≥ 5 项。

1.4 微特电机专用粘结磁体高性能化技术（典型应用示范）

研究内容：针对新型微特电机小型化、高速化、长寿命的发展要求，开发高性能粘结磁粉流程化制备技术；研究核心微量元素对微观组织的调控机理；研究表面处理、晶界扩散对磁体磁性能、加工性及耐热性的影响规律和机理，开发新型复合粘结剂体系；开发取向磁环关键成型技术，研究多

场耦合磁粉取向与磁化规律，掌握充退磁夹具设计技术以及整体器件的一体化生产技术。

考核指标：突破高性能粘结磁粉及其关键制备技术，磁粉综合磁性能（内禀矫顽力(kOe)+最大磁能积(MGOe)） ≥ 58 ；突破高温稳定性辐射取向粘结磁环关键成型技术，环形磁体最大磁能积 ≥ 20 MGOe，内禀矫顽力 ≥ 12 kOe，内禀矫顽力温度系数 $|\alpha(H_{cJ})| < 0.45$ %/°C(室温至 120°C)；开发出高性能粘结磁环成套应用设计技术。申请发明专利 ≥ 10 项。

1.5 高性能永磁材料及热压流变取向新技术（共性关键技术）

研究内容：针对新能源汽车驱动电机的高耐温、高功率密度、高耐蚀、降成本等技术和市场要求，研发高性能异性热压磁体。通过成分和工艺的优化突破热压磁体的技术瓶颈，开展长片状、环形等不同形状磁体各向异性形成机理研究，解决异形热压磁体成型困难、均匀性差的难点；研发制备具有高磁能积、高耐温性、高均匀性、良好耐蚀性、高材料利用率的长片状、环形等热压磁体的制备技术及装备。

考核指标：高磁能积热压磁体的最大磁能积 ≥ 54 MGOe；长度方向 ≥ 40 mm 的无重稀土长片状磁体，室温最大磁能积 ≥ 40 MGOe，内禀矫顽力 ≥ 18 kOe，磁体磁性能的内部偏差率优于 $\pm 4\%$ ，内禀矫顽力 ≥ 7 kOe@150°C。申请发明专利 ≥ 5 项。

1.6 多尺度功能基元构筑的高性能稀土永磁材料（基础研究）

研究内容：基于不同尺度相互作用机理的差异，开展层

状原子结构、纳米晶粒、微米或毫米颗粒等多尺度功能基元构筑的新型稀土永磁材料的原理和验证研究。研究基元的成分和结构对材料磁性的影响和调控作用；开发包括纳米尺度硬磁基元的取向技术和多种功能基元的三维可控构筑技术，揭示制备工艺-微结构-宏观磁性之间的关系；以磁能积超过现有材料的理论值为导向，探索基于功能基元的新概念永磁材料的新原理、新技术或新方法。

考核指标：用于微型永磁电机或者微机电系统的RE-TM-B(RE-稀土，TM-过渡金属)系列微纳尺度的永磁基元的内禀矫顽力 ≥ 12 kOe。RE-TM-B/RE-Co全致密多基元杂化磁体的最大磁能积 ≥ 35 MGOe，使用温度 $\geq 180^\circ\text{C}$ 。各向异性多基元(RE-Fe-N/RE-TM-B)磁粉的最大磁能积 ≥ 40 MGOe，矫顽力温度系数 $|\alpha(H_{cJ})| < 0.57\ \%/^\circ\text{C}$ （温度区间 20~120 $^\circ\text{C}$ ）。研制新型永磁材料 ≥ 2 种。申请发明专利 ≥ 10 项。

2. 新型高效稀土光功能材料及应用技术

2.1 新型高效深红-近红外发光材料及应用技术（共性关键技术）

研究内容：面向安防监控、现代农业、食品安全和光伏等领域对荧光转换型深红-近红外发光材料的重大需求，采用第一性原理计算及高通量材料设计技术，筛选高效匹配的基质材料和发光中心，设计适合近紫外-蓝光激发的新型高效深红-近红外发光材料；研究其发射光谱定向调谐及发光效率增强技术，粒度、形貌等可调控的关键制备技术；研究其在热、湿、光辐照下的光色衰减机理，开发材料耐候性提升技术；

开发基于深红-近红外发光材料的应用技术。

考核指标：研制出 ≥ 5 种（发射峰值波长不同）近紫外-蓝光激发下峰值波长范围为 700~1100 nm 的新型深红-近红外发光材料，其外量子效率 $\geq 35\%$ 、其中至少 3 种 $\geq 40\%$ ，热猝灭特性 $\geq 90\% @ 100^\circ\text{C}$ ；形成 ≥ 3 个应用场景。申请发明专利 ≥ 10 项。

2.2 超高能量分辨及多模探测用稀土卤化物闪烁晶体制备技术（共性关键技术）

研究内容：针对国土安全、深海深空探测领域对高性能闪烁材料的迫切需求，探索超高能量分辨、中子-伽马多模探测用稀土卤化物闪烁晶体成分/结构设计、性能调控核心规律；开发相关晶体高纯无水原料批量制备、单晶高效生长、晶体防潮加工及封装关键制备技术；开发基于高性能稀土卤化物闪烁晶体的新型先进辐射探测器件制备技术。

考核指标：开发出 ≥ 2 种超高能量分辨（能量分辨率 $< 2.5\% @ 662\text{keV}$ ）和中子-伽马多模探测（中子-伽马甄别品质因子 ≥ 2.5 ）稀土卤化物闪烁晶体新材料，形成晶体高纯原料制备-单晶生长-加工封装全链条关键技术，晶体器件直径 ≥ 3 英寸；开发出 ≥ 2 种满足温度 $\geq 50^\circ\text{C}$ 、湿度 $\geq 80\text{RH}\%$ 环境使用的辐射探测器件。申请发明专利 ≥ 10 项。

2.3 紫光激发新型高效稀土发光材料及应用基础（基础研究）

研究内容：面向类太阳光 LED 健康照明迫切需求，建立发光性能高通量计算设计的筛选因子集，研究发光材料基

质的组分、结构、缺陷等因素与发光、热猝灭性能的构效关系，设计和开发适用于紫光（400~420 nm）激发的新型高效稀土发光材料；研究晶体场对光谱调谐及发光效率增强的共性规律；研究温度、湿度等多场耦合条件下发光材料的失效基础理论及可靠性提升关键技术，探索其封装应用技术方案。

考核指标：完成 $\geq 10^5$ 个样本的高通量计算筛选预测，研发出 ≥ 5 种适合紫光激发的新型多色稀土发光材料，蓝色、青色、绿色和长波红色发光材料的发射峰值波长分别位于450~480 nm、485~500 nm、510~540 nm和650~680 nm，其中 ≥ 4 种外量子效率 $\geq 60\%$ ，热猝灭特性 $\geq 80\% @ 120^\circ\text{C}$ ，LED封装器件（0.5 W）的 $R_a \geq 95$ （ $R_g \geq 100$ 和 $R_f \approx 100$ ）时光效 ≥ 120 lm/W。申请发明专利 ≥ 10 项。

3. 高效低成本稀土催化材料及应用技术

3.1 机动车尾气高效净化稀土催化材料及应用技术（典型应用示范）

研究内容：针对机动车后处理高效、长寿命的应用需求，开发高性能铈基储氧材料、高稳定稀土改性氧化铝材料可控制备技术；开发柔性贵金属催化剂涂层技术以及低贵金属稳定负载技术；研究稀土调控分子筛催化活性及稳定性的作用机制；开发新型稀土基分子筛脱硝催化材料及应用技术；突破非对称、大尺寸陶瓷载体技术难题；开发长寿命、低贵金属机动车尾气净化催化剂产业化制备技术；开发低成本、短周期的汽油车、柴油机后处理系统匹配与集成技术，开展规模应用示范。

考核指标：铈基储氧材料经 1100°C、10 h 高温老化后比表面积 $\geq 28 \text{ m}^2/\text{g}$ ，静态储氧量 $\geq 500 \mu\text{mol}/\text{g}$ ；稀土改性氧化铝材料经 1200 °C、10 h 高温老化后比表面积 $\geq 80 \text{ m}^2/\text{g}$ ；稀土基分子筛催化材料经 800°C/10%H₂O/16 h 水热老化后，150~500°C NO_x 的脱除率 $\geq 80\%$ ；新型稀土基 NO 氧化催化剂经 650°C/10%H₂O/100 h 水热老化后，150~400°C NO 的氧化转化率 $\geq 40\%$ ；催化剂贵金属减量 $\geq 20\%$ 。实现汽油车和柴油机各 10 万台/套的应用示范。申请发明专利 ≥ 20 项。

3.2 稀土分子筛催化新材料制备关键技术及应用（典型应用示范）

研究内容：针对催化裂化装置中催化材料高活性与低焦炭产率难以兼顾的难题，研发高性能超稳 Y 分子筛催化材料，构建多级孔催化剂新体系；研究稀土分子筛催化材料抑焦机理；掌握稀土元素配分、定位分布与催化功能的构效关系；研制稀土高效负载新技术，开发稀土催化材料提升催化活性和选择性的新方法；建立基于外场强化手段的催化剂宏量制备新技术，在催化剂生产装置和催化裂化装置实现应用示范。

考核指标：开发 ≥ 3 类典型稀土配分的催化剂；催化剂磨损指数 $< 2.5\%$ ，比表面 $\geq 260 \text{ m}^2/\text{g}$ ，800°C、100%水蒸气老化 17 小时微反活性 $\geq 60\%$ 。新型催化剂在百万吨级催化裂化装置实现应用示范，较传统催化剂的活性提高 $\geq 10\%$ 、三烯产率提升 $\geq 2\%$ 、焦炭产率降幅 $\geq 15\%$ 。申请发明专利 ≥ 10 项。

3.3 复杂工况工业烟气深度净化稀土脱硝催化剂及应用 (共性关键技术)

研究内容: 针对非火电行业(钢铁、有色、化工及水泥等)高温高硫、低温高湿、高碱尘、高空速等复杂工况下的工业烟气脱硝应用需求,研究稀土基及稀土掺杂催化剂在低温反应性能提升、高温抗烧结及抗活性组分流失、耐碱尘/重金属中毒等方面的独特性能,并探究其强化机制。开发非火电行业复杂烟气深度净化用无钒稀土基脱硝催化剂,实现共性关键技术的规模化应用。

考核指标: 形成 ≥ 2 种无钒稀土基脱硝催化剂;水汽含量(体积) $\geq 15\%$ 条件下,脱硝工作温度 $< 150^{\circ}\text{C}$;宽温脱硝工作温度 $150\sim 350^{\circ}\text{C}$;在非火电行业实现 ≥ 2 个领域的应用示范,稳定运行 ≥ 1 年,满足国家或地方行业最新排放标准。申请发明专利 ≥ 10 项。

3.4 多孔稀土催化与稀土-贵金属催化材料开发(基础研究)

研究内容: 针对传统催化剂开发成本高、周期长的问题,采用材料基因工程关键技术,开展多孔稀土催化材料、稀土-贵金属催化材料等的高通量计算预测、实验筛选,构建包含电子态特征、合成策略与催化性能等参数的稀土催化材料数据库;开发高通量、高精度的稀土催化材料表征、评价技术;建立“预测-合成-评估-优化”的数字化研发技术,开发“低成本、短周期”的新型稀土催化材料。

考核指标: 实现多孔稀土催化材料 $\geq 10^3$ 量级的高效计算,

构效模型 $R^2 \geq 0.8$ ，构建 $\geq 10^5$ 条数据的专用数据库，多孔材料比表面积 $\geq 1200 \text{ m}^2/\text{g}$ ，应用于高品质航空燃油制备，反应温度 $< 100 \text{ }^\circ\text{C}$ 、底物转化率 $\geq 99\%$ 、产物选择性 $\geq 99\%$ ；研制出稀土-贵金属催化材料四通道催化活性评价装置、六通道快速老化装置各一套，精密度偏差 $< 5\%$ ，建立 ≥ 3 款车型/机型稀土-贵金属催化材料的仿真模型，完成系统仿真设计与匹配标定，瞬态测试循环实测结果误差 $< 10\%$ 。申请发明专利 ≥ 10 项。

4. 稀土材料绿色智能制备和高纯化技术

4.1 可再生稀土功能材料二次利用技术(共性关键技术)

研究内容：针对我国可再生稀土功能材料现行回收技术能耗高、环境负担重、二次循环率低等问题，采用多级物理和化学工艺，开发基于稀土功能产品加工油泥和废旧产品的绿色高值化再生利用技术，包括高纯度稀土铁硼基超细粉和稀土化合物的制备；采用无压烧结、纳米颗粒改性、晶界扩散等工艺，研制高磁性能再生烧结稀土功能产品；开发可再生稀土功能材料的绿色高值化再生利用全套产业化技术与装备。

考核指标：获得从稀土功能产品加工油泥、废旧产品到再生稀土功能产品的短流程制备产业化新技术；稀土及其它有价元素综合回收率 $\geq 95\%$ ；再生稀土功能粉末的饱和磁化强度 $\geq 15.5 \text{ kGs}$ ，粒度 $D_{50} < 2 \text{ }\mu\text{m}$ 。原产品与再生产品的主要性能指标的差值 $< 3\%$ 。申请发明专利 ≥ 5 项。

4.2 超高纯稀土氧化物/氟化物制备基础（基础研究）

研究内容：面向高功率激光光纤、激光晶体、光学镀膜等对超高纯稀土化合物的迫切需求，开展稀土氧化物/氟化物中杂质深度去除过程与机理研究；开发超高纯稀土氧化物的高效分离提纯及其高温稳定性稀土配合物制备新方法；开发超高纯稀土氟化物的制备及深度脱水除氧新方法；开发高纯稀土氧化物/氟化物的分析方法。

考核指标：探明主元稀土与稀土杂质、碱土/过渡族等非稀土杂质之间分离的基本规律，获得超高纯稀土氧化物/氟化物制备及分析新方法；获得 ≥ 5 种高于5N纯度稀土氧化物，其中钙含量 < 1 ppm、硅含量 < 1.5 ppm及Fe、Ni、Cu含量均 < 0.05 ppm； ≥ 2 种6N稀土有机配合物， 200°C 时分解率 $< 5\%$ ； ≥ 3 种4N高纯稀土氟化物，总氧含量 < 50 ppm。申请发明专利 ≥ 5 项。

4.3 特种稀土功能合金及制备技术（共性关键技术）

研究内容：面向车辆轻量化、核安全屏蔽、高性能电机等领域的材料需要，开发新型特种稀土功能合金，研究稀土元素对合金氧化腐蚀性能、导电性能及磁性等影响规律及机理；开发稀土合金均质铸造、变形加工及微观组织控制技术，研究其组织结构、体密度等对阻燃性、核屏蔽性、导电性及磁性等关键性能的影响；研制新型多元稀土合金；开展稀土合金关键制备技术及应用研究。

考核指标：获得稀土特种功能合金的成分-组织-特种性能等关键性能间的变化规律。稀土铜合金电导率 $\geq 50\%$ IACS，

电磁屏蔽性能 ≥ 90 dB，抗拉强度 ≥ 800 MPa；阻燃稀土镁合金的燃点 $\geq 900^\circ\text{C}$ ，中性盐雾寿命 ≥ 1000 h，抗拉强度 ≥ 300 MPa；核屏蔽镍基稀土合金（5 mm 厚板）的热中子衰减系数 $\geq 10^{-5}$ 以上，腐蚀速率 < 0.01 mm/a，体密度 8.0~11.0 g/cm³，抗拉强度 ≥ 600 MPa。多种富稀土含量合金纯度 $\geq 3\text{N}5$ 。申请发明专利 ≥ 10 项。

5. 稀土物化功能基元材料及应用技术

5.1 高能量密度新型稀土储氢材料及应用技术（共性关键技术）

研究内容：针对氢能及储能领域产业技术需求，发展兼具高有效储氢容量和优良平台特性的新型稀土储氢材料，研究材料成分和结构对储氢动力学及热力学性能的影响机制，研究材料结构稳定性、粉化和杂质气体等对循环寿命的影响规律，开发成分和相结构可控的低成本批量制备技术，研制基于新型稀土储氢材料的高能量密度、快动态响应固态储氢装置。

考核指标：新型稀土储氢材料的有效储氢容量 $\geq 1.7\text{wt}\%$ ，室温放氢平台压力 ≥ 0.3 MPa，2000 次吸放氢循环后容量保持率 $\geq 80\%$ ；高密度固态储氢装置的重量储氢密度 $\geq 1.4\text{wt}\%$ ，体积储氢密度 ≥ 55 kg/m³。制定储氢动力学评价标准。申请发明专利 ≥ 10 项。

5.2 高端显示玻璃基板用稀土抛光材料及其应用关键技术（共性关键技术）

研究内容：针对新型显示用高世代 TFT 和 OLED 玻璃

基板等用稀土抛光材料完全依赖进口的现状，研发高分散、超细、类球形稀土抛光粉的可控制备技术；开发粉体高悬浮稳定、易清洗抛光浆料配方设计等关键技术；开发高世代 TFT 和 OLED 玻璃基板等的精密抛光工艺，建立性能检测与评价方法规范。

考核指标：抛光粉体呈纳米类球形颗粒，体粒径 $D_{max} < 6 \mu\text{m}$ ，大颗粒数量 $< 300 \text{ ppm}$ ，粒度分布 $(D_{90}-D_{10})/(2D_{50}) < 1$ ；抛光浆料抛光速率 $\geq 500 \text{ nm/min}$ ，波纹度 $W_a < 0.02 \mu\text{m}$ ，粗糙度 $R_a < 0.01 \mu\text{m}$ 。申请发明专利 ≥ 5 项。

5.3 高品质速凝铸片及智能流程技术（典型应用示范）

研究内容：针对各种稀土功能合金对高品质速凝合金铸片需求，研究微晶合金的喷射速凝技术以及晶粒生长控制技术，探索树枝晶间隔均匀速凝结构的制备技术，研发速凝新设备，开发速凝制备工艺流程智能化控制技术，实现浇铸自动化及温控、抽样、检测和筛分等过程的智能控制，开发低氧含量、低缺陷速凝铸片。

考核指标：速凝片树枝晶间隔为 $2\sim 3 \mu\text{m}$ ，晶粒结构接近磁体单畴颗粒尺寸 ($0.9 \mu\text{m}$)，富稀土相分布均匀，无粗大树枝晶。速凝微晶合金粉尺寸为 $0.8\sim 2 \mu\text{m}$ ，通过智能化流程控制，提高产品收率 3%，技术成果在年产千吨生产线示范应用。申请发明专利 ≥ 5 项。

6. 稀土新材料及材料基因工程等新技术应用

6.1 新型稀土相变制冷材料（基础研究）

研究内容：揭示晶体结构、磁性原子间相互作用、磁晶

各向异性等对磁转变温度、磁熵变、饱和磁场的影响规律，设计新型高性能磁制冷材料；研究磁热、电热、压热等热效应的耦合原理，获得增强材料热效应的新方法；研究铸造或粉末冶金高通量合成技术及材料均匀批量化的可控制备技术，获得公斤级可直接应用的制冷材料。

考核指标：研制出多种新型磁制冷材料，在磁场变化 1 kGs 时，材料的可逆熵变 ≥ 15 J/(kgK)；建成集磁场、电场、应力场的单/多效稀土固态制冷的功能评测平台；获得公斤级磁致冷材料制备技术。设计出性能不低于原材料 95%，单元微尺度小于 500 微米的制冷器件和磁制冷样机；获得新型稀土相变制冷材料一次高通量合成数量 ≥ 50 个样品的技术。申请发明专利 ≥ 10 项。

6.2 新型易面型稀土基高频材料开发及应用研究（基础研究）

研究内容：针对电力电子、5G 通讯等领域对高频材料的高饱和磁感应强度、高磁导率和高截止频率的迫切需求，开发新型易面或者易锥面的稀土基高频材料，阐明具有高饱和磁化强度的各磁性相的成相规律以及相转变机制；开展稀土高频材料的内禀磁性设计与可控制备技术研究，并完成小批量试制。

考核指标：获得 ≥ 2 类稀土基高频材料；稀土基高频材料/粘接剂复合体的磁导率在 0.5 MHz 达到 20，在 30 MHz 达到 10；高频损耗 < 5000 mW/cm³ (1~5 MHz, 50 mT)；高频电磁波吸收材料工作频率达到 X 波段，有效带宽 ≥ 8 GHz，最大吸

收强度达到-40 dB。申请发明专利≥10 项。

6.3 新型稀土超磁致伸缩材料（共性关键技术）

研究内容：面向换能、驱动、传感等功能器件宽温域应用的发展需求，研究高磁致伸缩系数、高电阻率、低磁致伸缩温度系数的新型稀土磁致伸缩合金成分高通量筛选与设计；建立高性能磁致伸缩材料组分-结构-磁致伸缩性能关系图；研究高电阻高磁致伸缩材料制备新方法；研究强磁场对凝固过程中熔体和生成相产生的作用效果，突破大尺寸高磁致伸缩晶体材料的取向生长、组织结构调控关键技术；实现高性能稀土磁致伸缩材料在石油增采方面的典型应用。

考核指标：发展出≥2 种新成分稀土磁致伸缩材料；低温系数磁致伸缩材料：磁致伸缩温度系数 $\Delta\lambda/\Delta T \leq 1.8 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ ，室温磁致伸缩性能 $\lambda_s \geq 1650 \text{ ppm}$ 。高电阻磁致伸缩材料：电阻率 $\rho \geq 1.0 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{m}$ ；80 kA/m 磁场、10 MPa 预压力下，磁致伸缩性能 $\geq 800 \text{ ppm}$ 。大尺寸磁致伸缩晶体材料：直径 $\geq 30 \text{ mm}$ ，长度 $\geq 300 \text{ mm}$ ；80 kA/m 磁场、10 MPa 预压力下，磁致伸缩性能 $\geq 1250 \text{ ppm}$ ；制备的 Tb-Dy-Fe 合金中 Laves 相沿 $\langle 111 \rangle$ 方向的晶体取向度和排列程度均 $\geq 80\%$ ；不同批次、沿轴向磁致伸缩性能一致性偏差均小于 10%。应用于石油开采增采率 $\geq 5\%$ 。

6.4 数据驱动的新稀土功能材料与应用（基础研究）

研究内容：针对稀土功能材料成分和含量敏感、电子结构复杂和数据稀疏等特点，发展稀土光功能、稀土硬磁功能、稀土力热功能、稀土催化功能和稀土磁电功能等新材料数据

提取、质量评估与控制技术和方法；发展基于主动学习的多目标协同优化理论、算法和软件，研发材料高通量计算与大数据技术相互融合和迭代的稀土新材料智能化设计和研发技术；构建具有物理可解释性的材料特性参量与目标性能的机器学习模型和数学表达；建设典型稀土功能材料高精度专题数据库，在基于 4f 电子的磁性材料等研发中进行应用，研发出具有自主知识产权和应用前景的新一代稀土功能材料。

考核指标：建成基于材料 3d-4f 电子相互作用理论模型与大数据有机融合的新稀土功能材料智能设计平台和专题数据库；形成 ≥ 3 项稀土材料特征参量优化筛选方法、多目标优化方法，并获得应用；利用机器学习、材料基因工程技术等多种方法并结合第一性原理计算，设计、计算模拟出 ≥ 4 种具有自主知识产权的新概念稀土功能化合物材料；获得 ≥ 2 种新材料的实验验证数据；申请发明专利或著作权登记 ≥ 10 项。

7. 青年项目

7.1 元素双梯度钴基复合磁体变温磁耦合机制及调控技术

研究内容：研究元素交叉梯度及界面特征对 2:17R 相、1:5H 相及复合体系的内禀磁参量的影响规律及其随温度的演变行为，澄清不同温度下钴基复合磁体磁耦合作用类型及其演化调控理论，揭示磁耦合类型、元素梯度分布和微观结构的最佳组合方式，为高工作温度磁体开发提供理论支撑。

考核指标：获得超高温稀土永磁检测技术。在室温至 $\geq 500^{\circ}\text{C}$ 范围，剩磁温度系数 $|\alpha(B_r)| < 0.04\%/^{\circ}\text{C}$ ，内禀矫顽力温

度系数 $|\alpha(H_{cJ})| < 0.18\%/^{\circ}\text{C}$; 无镀层状态下高低温循环热冲击 50 次后, 室温内禀矫顽力衰减率 $< 20\%$ 。申请发明专利 ≥ 5 项。

7.2 新型高性能稀土激光荧光材料的研制与应用

研究内容: 针对新一代超高亮度、超大功率激光照明对关键荧光材料的重大需求, 揭示高功率密度激光激发下荧光材料的失效机制, 建立科学评价激光荧光材料性能的方法; 掌握激光荧光材料的可控制备技术, 探索其成分、微观结构与发光效率及可靠性之间的关联关系; 开展基于上述材料的白光光源应用研究。

考核指标: 掌握激光荧光材料的设计准则, 建立激光荧光材料的发光和可靠性评价方法; 研发出 ≥ 3 种新型高性能激光荧光材料; 制备出耐入射蓝光激光功率密度 $\geq 20 \text{ W/mm}^2$ 的荧光材料; 基于上述材料的激光白光光源的显色指数 ≥ 80 、光效 $\geq 150 \text{ lm/W}$ 、光通密度 $\geq 500 \text{ lm/mm}^2$; 申请发明专利 ≥ 5 项。

7.3 新型 d-f 跃迁稀土发光材料的设计与应用

研究内容: 面向智能透光膜及透明显示器件等领域对光转换型发光材料的迫切需求, 研究湿热稳定性好、发光效率高、紫外耐受性强的新型稀土发光配合物。研制基于配体三线态的 d-f 跃迁稀土发光配合物, 研究其在热、湿、连续辐照下的光色衰减机理, 开发材料的耐候性提升技术; 开发基于光转型发光材料的透明显示技术。

考核指标: 研制出 ≥ 3 种近紫外-蓝光激发的红/绿/蓝色新

型稀土配合物材料，其外量子效率 $\geq 70\%$ ，热猝灭特性 $\geq 70\% @ 100^\circ\text{C}$ ，制备的三基色透明显示器件（初始亮度 1000 cd/m^2 ）连续工作 1000 h 后衰减 $< 10\%$ 。申请发明专利 ≥ 5 项。

7.4 新型 Ce 基催化材料结构设计及贵金属减量技术

研究内容：探究稀土 Ce 基催化材料极端服役条件下贵金属团聚和失活机理；考察 Ce 基稀土氧化物载体与贵金属相互作用机制；基于第一性原理和分子动力学等计算模拟手段，剖析组成和尺寸等关键因素对 Ce 基稀土氧化物载体高温热稳定性影响规律，并进行结构设计和筛选，提高贵金属分散度与稳定性，减少催化剂贵金属用量。

考核指标：构建 ≥ 2 种配方的 Ce 基材料与贵金属协同作用模型，设计出 ≥ 2 种新型 Ce 基催化材料结构，提出贵金属减量 $\geq 10\%$ 的贵金属分散技术方案。申请发明专利 ≥ 5 项。

7.5 稀土氧化物缺陷/空位催化作用理论

研究内容：开发稀土氧化物缺陷/空位原位定性、定量表征方法；探究稀土氧化物中缺陷/空位动态形成机制；解析材料结构、缺陷/空位与催化性能间构效关系，发展稀土氧化物缺陷/空位催化作用理论。

考核指标：建立稀土氧化物缺陷/空位原位定性、定量表征方法；提出稀土氧化物缺陷/空位形成机制；获得材料结构、缺陷/空位与催化性能间构效关系。申请发明专利 ≥ 2 项。

7.6 高性能环保稀土着色剂及其绿色制备新技术

研究内容：针对传统有毒有害着色剂亟需替代的重大应用需求，开发在不使用硫化氢或二硫化碳等危化原料条件下，

以稀土氧化物或含氧化合物为原料的绿色高效合成硫化物着色剂新技术；研究稀土氧化物的脱氧加硫技术及机理，探索不同稀土元素的硫化条件及产物之间的内在关系；开展稀土硫化物着色剂表面耐水修饰等应用基础研究。

考核指标：获得不使用硫化氢和二硫化碳为原料的稀土硫化物绿色高效制备新技术。制备出 ≥ 3 种新型稀土硫化物着色剂材料，粒度 $D_{50} \leq 3 \mu\text{m}$ ，耐光性 8 级，红色着色剂的红度值 ≥ 50 ，黄色着色剂黄度值 ≥ 80 ，形成 ≥ 3 个场景应用。申请发明专利 ≥ 3 项。

7.7 超晶格稀土储氢材料研究

研究内容：针对节能与新能源汽车对高性能化学电源的技术需求，开发原创性的高容量超晶格稀土储氢电极材料，研究化学组成与热处理制度对材料晶体结构、物相演变的影响规律，探究充/放电循环过程中储氢材料的成分分布状态及其结构演变规律，开发超晶格稀土储氢材料结构和性能调控技术及其电极材料产品。

考核指标：开发的超晶格稀土储氢材料的放电容量 $\geq 370 \text{ mAh/g}$ (30°C , 60 mA/g 充/放)；放电容量 $\geq 350 \text{ mAh/g}$ (30°C , 300 mA/g 充/放)； 300 mA/g 充/放循环 200 周后放电容量 $\geq 290 \text{ mAh/g}$ (30°C , 60 mA/g 充/放)；放电容量 $\geq 260 \text{ mAh/g}$ (-30°C 和 70°C , 60 mA/g 充/放)。申请发明专利 ≥ 5 项。

7.8 高性能稀土生物特种纤维及制备技术

研究内容：针对下一代高端装备对高强高韧纤维及保温功能的迫切需求，开发系列具有光热转化特性的稀土蛋白质

及其高性能特种纤维材料。探索稀土结构蛋白分子高效合成以及多尺度精确组装；发掘稀土蛋白质生物合成的新方法，揭示不同稀土元素对稀土蛋白质的功能性差异影响；实现高强高韧稀土蛋白纤维材料的工程化技术突破和装备蓄热应用。

考核指标：建立稀土功能蛋白质理性设计和工程化制备技术路线；开发 ≥ 3 种具有光热功能的稀土高强高韧生物纤维，光热转化效率 $\geq 30\%$ ，其拉伸强度 ≥ 500 MPa，杨氏模量 ≥ 10 GPa，韧性 ≥ 80 MJ/m³。申请发明专利 ≥ 5 项。

7.9 稀土掺杂高综合性能铁氧体及制备技术

研究内容：针对我国稀土掺杂高性能铁氧体研发及产业流程技术落后与国外的局面，研究Ca²⁺、La³⁺组合替代Sr²⁺大幅度提高M主相饱和磁感应强度B_s的机制和技术，研究Co²⁺替代Fe³⁺对离子电荷平衡和温度稳定性提高的作用，揭示内禀矫顽力温度系数 $\alpha(H_{cJ})$ 与成分和微观结构的关联。研究关键工艺参数对稀土掺杂高综合磁性能铁氧体材料微观结构和磁性能的影响。

考核指标：稀土掺杂铁氧体综合磁性能（内禀矫顽力(kOe)+最大磁能积(MGOe)） ≥ 10 ，其中(BH)_{max} ≥ 4.6 MGOe，H_{cJ} ≥ 5.4 kOe，径向收缩率SHR=13 \pm 0.5%，耐击穿电压V-AC ≥ 1.8 kV；获得实验室成果向千吨级生产线转化的关键技术，申请发明专利 ≥ 5 项。

7.10 新型稀土基多层阻抗渐变宽频吸波复合材料

研究内容：针对航空航天、国防军工对宽频吸波材料的

高阻抗匹配度、高耐环境性、结构功能一体化的迫切需求，开发新型稀土掺杂磁性金属或铁氧体吸波层，与阻抗匹配层、高耐环境性树脂分层层级构筑复材，阐明稀土占位、价态、晶体结构对其成相规律、共振频率及高频电磁参数的影响，揭示阻抗匹配层与电波吸波层的匹配及协同作用机制；实现稀土吸波结构功能一体化复材的设计、可控制备及环境应用性，建立多层阻抗渐变模型。

考核指标：获得 ≥ 2 种稀土掺杂的高频阻抗渐变吸波复合材料；工作频率达到 2~18 GHz，有效吸收频宽($RL < -10$ dB) > 10 GHz，最大垂直反射率 < -30 dB，且在盐雾、氧化等恶劣环境下（70 天内）仍能保持 90%的宽频吸波性能。

7.11 稀土基化合物相平衡和相结构的高通量实验测定

研究内容：利用材料基因组工程的“扩散多元节”高通量实验技术，实验测定稀土基三元体系的相平衡、组织结构及凝固路径，获得稀土化合物晶体结构及相平衡的准确信息，揭示稀土基材料的成相规律和稳定条件。根据相平衡、组织结构及凝固路径等的实验参数，采用国际先进的相图计算（CALPHAD）方法，建立稀土基多组元合金体系的相图热力学数据库。

考核指标：建立 Nd-Dy(Tb)-Y(Sm) -Fe-B 稀土基合金体系的原子迁移率耦合热力学描述,获得合金微观组织与凝固速率的关系。申请发明专利 ≥ 5 项。

“地球观测与导航”重点专项 2021 年度项目申报指南建议 (征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“地球观测与导航”重点专项。本重点专项总体目标是：瞄准世界空天科技前沿领域，坚持“四个面向”提出的发展方向，重点构建自主可控、开放创新、链条完整、全球领先的地球观测与导航技术体系，提升地球观测与导航战略高技术的核心竞争力，服务国家重大战略、国民经济发展、社会进步和人民健康福祉的提升，为保障国家发展利益提供战略科技支撑。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，拟围绕多圈层透视探测技术、空天地一体化综合试验验证与辐射基准、空天定量遥感和智能信息处理、全球和区域综合地球观测应用、先进导航定位授时、全时空信息理论与系统、高性能导航控制与时空服务、智能时空服务应用等 8 个方向，启动 12 个指南任务。

1. 多圈层透视探测技术

1.1 高分辨率极区冰冻圈主被动微波探测技术(共性关键技术类)

研究内容：面向冰川、积雪、冻土等极区冰冻圈多种环

境要素的探测需求，针对冰川快速变化监控及预测、冰基底物质分类及分辨、积雪覆盖及冻土变化等前沿科学问题，研究基于综合孔径体制的主被动微波高分辨探测系统技术，研究微波遥感电磁波可变介质中传输特性及敏感性差异，冰川微波成像分辨率与衰减特性，分布式主动穿冰雷达三维成像方法，电离层误差探测与补偿方法，研制三维成像穿冰雷达原理样机和高分辨率多波段综合孔径探测仪原理样机，开展机载校飞试验，为北极航道开发等重大应用提供保障。

考核指标：研制三维成像穿冰雷达原理样机和高分辨率多波段综合孔径探测仪原理样机，开发低频电磁回波综合处理与图像解译软件和多波段协同探测的数据处理软件；主动微波探测实现穿透深度 3-4km 极地冰层，水平空间分辨优于 100m，垂直分辨率优于 5m，具备探测冰下基岩和水系的能力；被动微波探测实现积雪探测厚度 0-2m，精度优于 15cm，次表层（20cm）土壤水分误差优于 $0.04\text{m}^3/\text{m}^3$ ，分辨率达到 5-40km，灵敏度优于 1K。

1.2 下一代碳卫星技术方案研究(共性关键技术类)

研究内容：面向我国 2030“碳达峰”、2060“碳中和”的国家战略，开展我国首颗碳卫星技术成果与效能分析。在此基础上，针对未来全球温室气体盘点目标，开展基于卫星监测的“自上而下”排放清单校核方案和系统技术研究，创建具有我国自主知识产权的基于卫星遥感的主要温室气体清单校核方法，开展试验验证；开展高时频、高精度、多要素、多尺度的下一代碳卫星总体方案与关键技术解决途径研究。

考核指标：多尺度碳通量计算模型具备国别清单校核能力，满足全球 $2^{\circ}\times 2^{\circ}$ 、中国 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 、典型城市 $2\text{km}\times 2\text{km}$ 空间分辨率要求；不确定度全球小于 15%、中国小于 20%、典型城市小于 50%；针对重点行业点源和大中型城市开展天地一体化排放监测示范验证。有效载荷监测要素包括 CO_2 、 CH_4 、 CO 、 NO_2 、SIF 等，精度分别达到： XCO_2 精度优于 0.7ppm、 XCH_4 精度优于 5ppb、SIF 精度优于 $0.25 \text{ mw m}^{-2} \text{ nm}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ ，重点排放地区 XCO 精度优于 10%、 NO_2 精度优于 $1.0\times 10^{15} \text{ molecules/cm}^2$ 。星座系统设计满足全球普查幅宽优于 240km、空间分辨率优于 $2\text{km}\times 2\text{km}$ 、热点地区空间分辨率优于 $0.5\text{km}\times 0.5\text{km}$ 的要求，时间分辨率优于 15 天。

1.3 基于收发同时的多波束 MIMO-SAR 系统技术(共性关键技术类)

研究内容：面向陆海高分宽幅遥感和大比例尺测绘等应用需求，突破传统合成孔径雷达（SAR）单波束收发分时的技术限制，研究收发同时多波束的多输入多输出（MIMO）SAR 系统技术；研究基于多维波形编码的收发高隔离度波束形成技术，研究基于射频光传输的大动态范围通道技术；研究多波束时频域分离和重构处理技术，研究海量数据压缩技术，设计星载 MIMO-SAR 技术方案、研制机载原理验证样机并完成飞行试验验证，为星载高分宽幅 SAR 遥感应用奠定基础。

考核指标：突破收发同时的多波束 MIMO-SAR 系统关键技术，设计满足分辨率/幅宽 1m/300km 和 5m/1500km 指标

的星载 MIMO-SAR 技术方案；研制机载原理样机 1 套，实现在 X 波段分辨率/幅宽优于 0.2m/60km；同时收发波束数量 ≥ 4 个，信号同时收发隔离度优于 130dB，收发通道动态范围 ≥ 80 dB；不同波形隔离度优于 40dB，数据压缩率优于 10: 1，等效噪声系数优于 -22dB，模糊度优于 -20dB。开展行业应用示范 3 项，包括测绘行业应用示范 1 项，面积不小于 100km²，满足 1:5000 测图精度要求，水利行业应用示范 1 项，面积不小于 3000 km²，具有区分水陆分界面的能力，交通行业应用示范 1 项，监察面积不小于 3000km²，具有大范围陆域灾害监测、识别与评估技术能力。

1.4 航空重磁多参量组合观测关键技术(共性关键技术类)

研究内容：面向日益增长的地球探测、资源勘探等对重磁场观测与导航的应用需求；解决高精度重力、磁力仪器的自主可控问题，提升近地空间重磁场观测精度；重点突破航空重、磁探测器的关键芯片和器件的制备工艺，系统高精度重、磁测量与飞行平台干扰补偿以及高精度区域重磁场模型构建等关键技术；实现高性能重、磁探测器的完全国产化与航空重、磁多参量探测系统；在此基础上，构建近地空间高精度区域重磁场模型。

考核指标：航空磁全张量/总场梯度多参量观测系统 1 套，全张量磁梯度芯片噪声水平：优于 $50\text{fT/m}/\sqrt{\text{Hz}}$ (室内标定)；全张量磁梯度飞行噪声水平：飞行测试场景下优于 10pT/m (0.05-1Hz，有效值)；磁总场探测飞行噪声水平：飞行测试

场景下优于 4pT ($0.05\text{-}1\text{Hz}$, 有效值)。航空重力/地面量子绝对重力测量系统各 1 套, 航空重力测量精度: 飞行测试场景下优于 3mGal @半波长空间分辨率 5km (外符合); 飞行测试场景下飞行平台挠性误差磁补偿改善比 ≥ 2 ; 量子绝对重力仪测量重复频率 $\geq 4\text{Hz}$, 校准不确定度: 优于 $5\mu\text{Gal}$ (室内标定)。区域重磁场建模算法软件 1 套, 典型区域 (华北地区中等起伏地形条件区域) 大地水准面模型精度: 优于 2cm 。

2.空天地一体化综合试验验证与辐射基准

2.1 空间卫星平台的微波无线传能技术 (基础前沿类)

研究内容: 面向下一代卫星平台高效能源供给对轻质化、小型化及灵活性等方面的需求, 开展空间卫星平台微波无线传能创新体系方案研究, 突破空间小型化、集成化和低成本发射与接收天线一体化系统设计、面向多目标的发射天线多波束形成与管理、面向动目标的微波无线传能高精度指向测量与控制、高密度高功率系统热控、地面演示验证系统相似性等关键技术研究, 研制卫星平台微波无线传能地面演示验证装置。

考核指标: 空间卫星平台微波无线传能创新方案 1 套, 相较现有空间太阳能电池阵供电模式, 卫星平台供电功率相同的情况下, 供电装置收纳体积减小 50% , 质量减小 50% , 成本节约 70% 。卫星平台微波无线传能地面演示验证装置 1 套, 充电效率 (接收天线输出直流功率与发射天线输入直流功率之比) $\geq 20\%$; 同时充电目标数 ≥ 2 个; 充电距离 $\geq 100\text{m}$; 充电功率 $\geq 1\text{kW}$; 卫星平台所携带能量接收装置为可重复展/

收天线，展开口径 $\leq 5\text{m}$ 。

3.空天定量遥感和智能信息处理

3.1 大气海洋一体化参数反演与应用(共性关键技术类)

研究内容：聚焦大气和海洋参数独立反演过程中两者相互干扰造成误差放大的问题，建立自主的微波全极化大气海洋一体化快速辐射传输模型，突破多源载荷时空匹配、全极化海气耦合辐射传输模式开发、气象海洋卫星场景自适应同步反演，台风及其风暴潮一体化监测、同化和预报等关键技术，集成我国大气海洋关键参数一体化综合反演系统，开展产品验证，支撑业务化应用。

考核指标：建立自主海气耦合快速矢量辐射传输模式与伴随模式，模式计算误差平均减小 10%；海上大气温度/湿度廓线、降雨反演相对误差减小 15-30%，海面风速、海表温度、有效波高、海面水汽含量反演误差减小 10-20%；建立国产气象、海洋卫星新型微波载荷大气海洋参数一体化反演系统，实现台风与风暴潮监测预报的业务应用。

3.2 复杂自然场景高分辨率遥感智能处理技术（共性关键技术类）

研究内容：针对我国地形地貌多样、气象条件复杂、地表结构细碎等复杂场景下的遥感大数据智能处理与空间认知的应用瓶颈,开展复杂地表空间的遥感数据表征理论与要素智能提取技术攻关，构建“数据-模型-知识”驱动的高分遥感视觉感知、探测机理耦合的复杂地表遥感知模型，重点突破星空地多传感器多模态数据时空融合、地表要素分层解

构与图谱特征智能提取、典型要素智能解译与真实性验证等关键技术，研发遥感智能解译系统与精准应用平台，开展行业典型示范应用。

考核指标：建立面向复杂自然场景的遥感认知理论与智能提取方法，提取方法适应 5 种以上复杂场景；时空数据融合至少包含光学、SAR、LiDAR、众包地理信息等 5 种以上类型数据，支持 5 个以上尺度的空间分辨率数据，融合精度达到像元级；智能提取技术支持我国主要高分辨率卫星数据产品，典型要素提取具备并行化计算能力；建设用地、水体、耕地、森林、草地、裸地、矿产开发地、盐碱地、石漠及荒漠化地等典型地表要素数据产品在分辨率优于 5m 时，识别总体精度不低于 90%；研发自主知识产权的遥感智能解译平台 1 套，支持深度学习、迁移学习、强化学习等多种智能计算，算法与工具集种类不少于 20 种；典型行业示范与验证适应 5 种以上复杂场景，示范区域不少于 5 万 km²。

4.全球和区域地球观测综合应用

4.1 多尺度流域水资源和水利设施遥感监测应用示范

（应用示范类）

研究内容：面向中小流域，构建空天地一体化综合观测真实性检验基地及流域数字孪生。突破多源遥感与地面涉水要素综合观测数据同化融合关键技术，形成水循环核心要素同化方法和开放成果集；在北方完整灌区，进行灌溉水和退水的遥感反演和对比验证，解析作物耗水、灌溉水有效利用系数等变量的时空分布；针对工程全生命周期监管能力提升

急需，开展大型水利工程施工季进度遥感监督和跟踪、投运工程的风险源定位、识别及月动态监测方法指标研究；在北方水资源过载流域分析多时间尺度地下水蓄变过程，探究地下水多年累计开采量和年内季相开采节律；开展流域水文基准点沉降形变跟踪；结合干涸河道治理和生态补水监测，评估并提出流域水资源利用优化方式。

考核指标：针对蓄满和超渗产流不同类型中小流域（不少于6个），搭建空天地一体化涉水要素1公里格网、小时级更新的流域数字孪生系统；建立多源数据融合和再分析模型，开放式提交时空连续序列日分辨率水文及涉水要素参数集，提供真实性检验；构建含田间尺度耕作层土壤水、作物耗水、灌溉水有效利用系数的灌区动态监测系统并交付实际运用，灌溉水遥感反演与实地观测误差小于15%；提出监管或跟踪要素指标方法，构建业务化动态监测系统及10个以上在建、5个以上在用大型水利工程典型实例。海河流域近20年年际和近5年季相蓄变数据分析数据集，与国家地下水观测实测结果误差小于20%；提交流域水文基准点近5年系列地面形变厘米级结果；评估近10年河道占用、跨流域调水对水资源超载区生态影响。

5.先进定位导航授时关键技术

5.1 单片光机电融合式导航微系统（基础前沿类）

研究内容：聚面向无人系统智能导航、物联网时空服务等重大应用对微型化、高性能导航系统的迫切要求，针对传统单源导航微系统在卫星导航拒止条件下定位精度有限和

抗干扰能力差等基础科学问题，研究基于惯性器件与光电探测的单片融合式综合导航微系统，开展基于 MEMS 微结构多维调制的光电测量机理、多维惯性信息感知技术的研究；研究微机械惯性器件与光电敏感器件的单片加工技术，建立光电信息与惯性测量的智能融合与误差补偿机制；研制芯片级光机电融合式综合导航微系统原理样机。

考核指标：实现光电测量视场角大于 120° ，精度优于 $2''$ (3σ)，惯性陀螺零偏稳定性 $0.3^\circ/\text{h}$ (3σ)，光机电系统质量小于 50g ，实现光电、惯性信息智能融合，消除传统惯性导航漂移，实现 24 小时导航位置偏差优于 200m (3σ)。

5.2 远程精准时间传递与计量一体化网络关键技术（基础前沿类）

研究内容：聚面向国家对时间精准计量和溯源的需求，针对计量基准时间量值的精准远程传递和校准的难题，突破高精度时间保持、远程低不确定度的时间频率信号计量、无参考接收机的北斗时间传递链路校准、实时性和精确性平衡的振荡器的驯服控制及基于精准时间源的精密测试与标校等关键技术。研制扁平化精准时间计量体系示范系统、精准远程时间溯源节点设备，及基于北斗的时间频率实时比对服务平台和时间频率精密传递比对数据后处理平台。

考核指标：构建一套溯源至国家时间频率计量基准的扁平化精准时间传递与计量一体化网络示范系统，节点数不少于 10 个。精准时间溯源方面，参考节点距离基准源 100km ，时间偏差绝对值优于 0.5ns (2σ)，1 天的时间稳定度优于 30ps 。

频率稳定度优于 $7E-16$ ；分布式节点距离基准源不少于 1000km，时间偏差绝对值优于 $2ns$ (2σ)，1 天的时间稳定度优于 $0.3ns$ 、频率稳定度优于 $1E-14$ ；时间传递链路校准方面，绝对校准和差分校准，合成标准不确定度不大于 $1ns$ ；时间计量方面：1 天采样时间的附加时间稳定度优于 $0.3ns$ ，合成标准不确定度不大于 $1ns$ 。申请发明专利不少于 10 项，申报国家/行业标准不少于 2 项。

5.3 地下大空间高精度定位导航与控制技术（共性关键技术类）

研究内容：聚面向日益增长的地下空间高精度定位导航应用需求，针对当前 WiFi、Zigbee、UWB 等技术无法实现地下大空间内人员及无人驾驶装备的精确定位导航问题，突破地下大空间复杂电磁环境下信号传输模型、数字孪生地图、规模可伸缩自主定位导航授时（PNT）系统组网、高精度定位等关键技术；研制地下大空间范围内轨道车辆、设备等的无人驾驶精确定位控制系统；开展地下大空间复杂电磁环境下自主 PNT 系统及导航控制应用验证。

考核指标：研制地下 PNT 系统一套，定位节点容量不低于 1000 个；支持对轨道车辆、装备等的无人自动控制；定位频率不低于 1Hz；地下三维定位精度 (1σ)：静态优于 0.3m、动态（速度不低于 25km/h）优于 1.5m；单基站定位容量不小于 30 个；网络同时定位总容量不少于 2000 个；网络连续覆盖路线长度不小于 30km；实地部署地下典型应用验证系统不少于两个，其中深度不小于 300m、路线长度不小于 20km。

6. 全时空信息理论与系统

6.1 地理空间智能核心技术与软件系统（共性关键技术类）

研究内容：聚面向国民经济建设、人民生命健康保障和国家重大战略实施对全时空大数据深度融合与精准分析的迫切需求，针对地理空间离散几何化抽象难以表达复杂语义关系、地理空间分析智能化水平不足等瓶颈，研究基于几何代数学的全时空对象建模方法，建立全时空对象化表达与对象空间建模的理论体系；研究知识驱动的时空大数据智能计算方法，构建对象内嵌的地理空间智能算法库，建立面向复杂场景动态演化的学习和模拟模型；研制集成大数据引擎、知识引擎、时空分析引擎、智能计算引擎和全息可视化引擎的多模态协同的引擎中台；设计规模可伸缩、模块易插入的云原生集成环境，研制以数据-知识-模式三元组构成为基础、全时空对象化表达与智能计算为核心、具有自主知识产权、世界领先的地理空间智能基础平台软件和应用基础软件，实现地理空间智能理论方法与技术的根本性突破；在自然资源管理、数字农业和全球综合环境信息智能保障等领域开展应用示范。

考核指标：研制地理空间智能软件一套，包括基础平台软件和不少于 3 个典型领域的行业应用套件，核心中台技术模块不少于 20 个；可管理 PB 级时空大数据和亿级时空知识元组，查询响应时间为秒级，支持超过 100 万用户并发访问；研发 100 个以上集成人工智能的空间分析算法，其中融合认

知与感知的智能诊断性和预测性算法不少于 50 个；项目关键技术成果申请发明专利不少于 10 项；申报国家/行业标准不少于 2 项。应用示范验证系统需在省市及以上相关部门业务运行。

“文化科技与现代服务业”重点专项

2021 年度项目申报指南建议

(征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“文化科技与现代服务业”重点专项。本重点专项总体目标是：面向文化科技与现代服务业生态集聚的新趋势、服务消费升级的新需求和服务场景创新的新特征，结合文化科技与现代服务业数字化、专业化、智能化和生态化的发展趋势，系统布局共性基础技术研究，媒体融合、数字文化、文旅融合、文化遗产保护等文化科技场景服务技术创新与应用，生活服务、科技服务、生产服务等现代服务业场景服务技术创新与应用，促进文化产业数字化转型升级，提升国家文化软实力；支撑现代服务业健康快速发展，培育经济发展新动能。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，拟围绕文化产业基础性制约性关键技术、数字文化、文旅融合、服务科学与技术、生活服务、科技服务及生产服务 7 个技术方向，启动 10 个指南任务。

1. 文化产业基础性制约性关键技术

1.1 知识产权价值评估与确权标识应用技术研究

研究内容：研究知识产权价值评估指标要素挖掘、关联

分析与表示模型，研究基于大数据的文化产权价值建模理论与可解释评估方法，构建文化产权价值多维评估指标体系，研发文化产权价值智能评估工具及系统；研究确权标识的结构体系，提出确权标识的生成与解析方法；研究提出将确权标识与文化产品有效绑定的隐蔽嵌入方法、以及文化产品流转过程中识别确权标识的鲁棒提取方法；研发基于登记注册与追踪查证的文化产品确权服务系统；重点结合影视作品创作开展产权价值评估和确权标识技术应用验证。

主要考核指标：提出可实用验证的文化产权价值评估指标体系和评估建模方法，形成文化产权价值评估、确权标识嵌入与提取相关软件产品不少于 4 项，制定文化产权价值评估、确权标识生成与解析、影视作品标识登记相关标准规范不少于 3 项；确权隐蔽标识具备抗压缩转码、分辨率改变、画面裁剪、片段截取、画面录制等常见攻击，标识鲁棒提取准确率达到 95% 以上；建立影视作品确权服务系统，注册作品数量 2000 件以上。申请发明专利或软件著作权登记不少于 5 项。

2. 数字文化

2.1 网络视听全景式交互化新业态关键技术研发与应用示范

研究内容：研究支持全景式、交互化的超高清视频内容拍摄制作技术，研究基于视角的全景视频编解码技术、基于对象和场景的音频编解码技术,支持沉浸式用户体验；研究全景式交互化视音频展现技术及主客观体验评价技术，研发全

景式和交互化视音频内容采集工具、云化/虚拟化制作工具和渲染引擎，研发基于人工智能+云等技术的全景式交互化视音频内容生产基础平台与多形态呈现终端；在广播电视与网络视听领域内容生产、分发传播、终端呈现等环节开展典型场景应用，制定相关标准规范，打造即时可取的大众化、个性化的新视听业态。

主要考核指标：开发全景式交互化视音频拍摄制作技术系统，支持 8K、50fps、10bit，支持动态光场拍摄，支持对象和场景的三维声音频；开发基于云的全景式交互化业务系统，支持全景式内容生产、交互式分发、终端自适应呈现，支持全景式视频、VR 视频、交互视频、云互动娱乐等新服务模式；研制基于视角的全景视频编解码系统，支持 8K 分辨率，相对于传统全景视频编码可节约码率达 70%以上；研制小型化全景式交互化呈现终端实验装置 1 套，支持覆盖视角不小于 $120^{\circ} \times 70^{\circ}$ （水平 \times 垂直），音频不低于 5.1.4 声道还音系统；形成全景式交互化网络视听技术标准立项不少于 10 项，在 2-3 个广播电视与网络视听机构开展全景式视频、VR 视频、交互视频、云互动娱乐等业务形态，完成 5 部全景式交互化视音频内容制作，服务用户数不少于 100 万人。申请发明专利不少于 6 项，完成软件著作权不少于 10 项。

2.2 面向智能交互产品的创意服务设计技术与平台

研究内容：研究智能交互电子产品的用户行为、产品特征与市场联动分析方法，融合用户行为、使用场景、产品功

效、终端反馈等海量多源异构数据，开发智能化的产品画像、设计决策、精准营销服务平台；研究智能电子产品设计的人因工程与人机交互技术，建立面向自然交互的物理、认知、情感等多模态人因数据库，形成人因设计规范与体验设计标准；研究复杂场景下自然交互技术和设计美学特征表达方法、人机协同的智能生成设计工具与审美评价标准，建立场景融合的文化、风格及美学主客观评价指标体系；研制机器学习和跨通道表征、图像与三维生成等智能交互设计工具系统，提高人机协同设计流程的效率和质量；开发基于智能交互、模式识别、全场景分析的PSSD设计迭代与智能化评估服务平台，针对通讯电子、健康与可穿戴设备等智能交互电子产品创意设计开展应用示范。

主要考核指标：建立智能电子产品用户的“特征-行为-体验”指标体系，构建全场景用户行为与设计决策分析平台，形成用户研究数据50000条以上、100个专业场景库的精准画像与设计决策；建立面向智能交互产品的多模态人因数据库和智能辅助设计平台，包含中国用户的静态和动态人因数据30000条以上，支持多通道交互与跨终端产品设计的舒适性、可用性评估；开发典型行业智能设计平台，支持自动生成100万张以上的设计作品，形成不少于6个专业设计服务领域的智能设计服务资源库和人机协同设计体系。申请发明专利不少于10项，软件著作权不少于10项。

3. 文旅融合

3.1 云演艺共性服务平台研发与应用示范

研究内容：面向我国传统演艺行业的数字化转型等需求，研究基于超高清的云端分布式渲染显示技术和专业导播切换软件化平台系统，实现演播基本功能云化；研究混合现实技术演艺演出沉浸式体验场景设计、8K视频的实时分片解码技术、虚拟视角合成与多视角即时切换技术，提升云演艺现场感；研究云演艺海量视音频数据多协议传输、超高清5G切片及多业务数据流端到端的虚拟网络技术，提升传输效率；研制自主可控中低成本专业8k拍摄编码传输设备和场景化AI导播技术，降低内容制作门槛；研发面向云演艺全链条的共性集成服务平台，并在若干专业演艺领域开展应用示范。

主要考核指标：建立基于5G传输的超高清远程协同云演艺共性集成服务平台，实现基于5G+超高清+XR的应用模式，覆盖云演艺全链条服务，支持不少于10路高清信号和4路4K信号切换，支持不少于20路信号实时连线直播互动；推动5G+超高清+XR在演艺产业的应用，培育5个以上线上原生云演艺产品，改造或新建3个以上超高清云演艺数字化实体场景开展示范。申请发明专利或软件著作权登记不少于15项。

4. 服务科学与技术

4.1 服务效能理论与技术研究及应用

研究内容：面向众多智能主体（人、企业或机构、智能机器人等）分工协作构成的服务场景，明确服务效能的内涵，研究提出智能主体的智能水平与服务效能的定量关系、服务

系统智能水平或效能的计算方法。研究服务系统智能水平或效能及服务主体智能水平、服务系统结构、服务过程信息交换与共享等关键影响因素之间的变化规律。开发服务系统效能定量分析诊断、跟踪优化方法与系统。

主要考核指标：形成服务效能定量分析诊断、跟踪优化系统 1 套,该系统能够根据特定服务场景或系统的服务主体、服务内容及服务过程信息，通过定制化技术与特定服务场景或系统互联，在线、同步、定量分析诊断与跟踪优化服务过程，有效提升服务系统运行效能。在 3 个以上服务场景或系统进行应用验证。

5. 生活服务

5.1 面向未来社区的物业服务融合技术研发与应用

研究内容：面向未来社区的构建，研究多模态物业数据融合技术，研究物业服务智能物联网（AIoT）技术与数字孪生技术，构建含社区建筑、社区环境、社区安全、社区活动、居民生活等在内的人机物融合数字化物业服务基础设施；结合地方政府未来社区工程的建设，研发面向未来社区跨界服务场景的融合方法与技术，打造面向未来邻里、教育、健康、建筑、交通等多个场景的智能跨界物业服务数字化平台，以数字化技术整合社区物业服务生态；探索面向未来社区的物业服务新模式，归纳总结不同模式特征与内涵，构建和谐化、社会化、平台化的物业服务新型生态体系；研究基于区块链的政府基层组织、业主委员会、物业公司、业主等多方协同、共建共管的可信物业服务设计、交付、监管等环节的流程与

服务治理模式、技术与平台。

主要考核指标：突破面向未来社区的智能物联网（AIoT）技术与数字孪生技术，实现不少于 50 种常用社区设备的链接，融合 BIM、社会、政务等不少于 5 类物业相关大数据；总结提炼面向未来社区的物业服务新模式，构建和谐化融合化的新型服务生态；研制面向未来社区物业服务的智能跨界物业服务数字化平台，提供支撑未来社区不少于 9 个场景的核心功能；突破可信物业服务设计、协同、交付、监管等关键技术，研制相关支撑平台，提升物业服务的跨社区协同与智能监管水平；制定 3 项物业服务质量控制国家/行业/地方标准，服务 2000 以上社区，服务 500 万人群。

5.2 面向终身学习的个性化“数字教师”智能体技术研究与应用

研究内容：面向终身学习个性化服务场景，研究基于多模态行为数据的用户画像生成和迭代更新模型，研究行业知识体系的构建和生命周期管理技术、互联网教学资源与行业知识图谱的语义映射技术，研究自适应教学与学习路径规划、跨媒体智能推荐等个性化学习技术，研究信息化和多元化的综合竞争力测评体系构建技术，研究针对特殊群体的智能交互技术。研发服务全民终身学习的数字化智能体系统，在数字世界为学习者构建一位陪伴终身的专属智能教师，有效完善终身学习教育体系并推动学习型社会的建立。

主要考核指标：完成覆盖 6 个数字经济重点行业的知识图谱构建和自动演化，建立 10 个维度以上的综合竞争力测

评体系；研发服务全民终身学习的数字化智能体系统，具备个性化教学、学习路径规划和精准内容推荐等自适应教育等功能，能够为至少 3 种类型的特殊群体提供教学便利；在 2 个以上代表性行业开展终身学习规模化示范应用，覆盖 10 万以上用户，单用户日均使用时长不小于 20 分钟；制定个性化学习相关 3 项国家/行业/地方标准。

6. 科技服务

6.1 新型研发机构创新服务平台技术研发与应用

研究内容：整合服务科学理论与关键技术成果，研发企业技术创新需求挖掘与技术成果智能匹配技术，研发产业技术创新图谱智能绘制等可视化技术；突破研发服务管理数字化技术，研发面向企业服务的智能机器人技术；研发产业创新生态模型和生态化运作机制，研究新型研发机构服务考核评价与激励技术；构建新型研发机构创新服务平台，集成研究开发、技术转移、创业孵化、科技金融等服务，汇聚设备、专利技术、人才、资金等要素，面向单一产业的专业性新型研发机构和多个产业的综合性新型研发机构开展应用示范。

主要考核指标：突破新型研发机构创新服务关键技术不少于 10 项，形成国家/行业/地方标准 2 项以上，编纂著作 2 本以上；形成一套新型研发机构创新服务平台，面向 3 个以上不同类型的新型研发机构开展应用示范，每个示范实现对 4 类以上科技服务的深度集成，每个平台服务企业超过 1000 家，支撑 3 家以上的新型研发机构实现数字化转型，增强其线上线下相结合的创新服务能力，服务效能明显提升。

7. 生产服务

7.1 产业互联网服务技术研发与应用

研究内容：研究数字孪生企业服务理论与模型，研究产业互联网服务模型、机理、动力机制；整合服务科学理论与关键技术成果，面向家电、家居、服装纺织等传统产业，研发面向产业链上下游协同的数据共享机制、数据协同规范，研发云原生的数字化产业链服务协同技术，支撑产业链灵活用工、共享财务、精准营销、科学决策等场景，实现产业全链条数字化、互联化、智能化；研究面向产业互联网的服务体系与服务内容，研发产业互联网服务平台，并面向智能家电、智能家居、服装纺织等传统优势领域开展应用示范，推动产业链资源整合和价值链优化，促进产业跨界融合、产业模式创新，提升产业效能，增强产业链安全。

主要考核指标：突破产业互联网的数据共享、数据协同、服务协同等关键技术不少于 30 项，形成国家/行业/地方标准 5 项以上，编纂著作 2 本以上；形成覆盖 3 个以上细分产业链的云原生数字化服务解决方案，覆盖从营销到生产的数字化场景 10 个以上；在细分产业领域形成 3 个产业互联网服务平台，并建立产业互联网平台运营服务体系，每个产业链平台服务企业不少于 500 家，累计服务收入不少于 5000 万元。

7.2 服务型制造服务共性技术研发与应用

研究内容：围绕制造与服务融合、产品与服务集成带来的技术挑战，探讨基于传感和智能技术的制造和服务深度融

合机理和模式，研究产品服务系统设计与优化方法、网络驱动的制造产品服务化设计、基于数字孪生和工业互联网的数字化服务、基于 IoT 与 5G 的产品远程运维等关键共性服务技术；研究制造服务生态体系的数据交换方法、数据定价模型和制造服务智能交易技术，建立面向全生命周期的制造服务数据治理机制，激活数据要素在服务型制造中的牵引作用。研制面向典型行业、典型模式、可定制的开放式制造服务化支撑平台，并开展示范应用。

主要考核指标：突破产品服务系统设计、部署、交易、运营等关键技术，形成面向制造服务生态的制造数据治理方案，编纂著作不少于 5 本，制定服务型制造相关的国家/行业/联盟标准不少于 3 项，申请发明专利或取得软件著作权不少于 20 项。研制至少 1 套面向典型行业、典型模式、可定制的开放式制造服务化支撑平台，开发不少于 20 项集成资源及软件构件，为制造企业快速实施服务型制造工程提供解决方案，应用在生物医药、机械装备、汽车、厨电、纺织、包装、家具等 10 个典型制造行业；形成服务型制造共性技术公共服务平台，接入并服务企业 500 家以上，终端服务用户数不少于 5000 家。