

## 附件 1

# 2023 年度高新技术领域重点研发计划项目申报指南

## 一、新一代人工智能专题

### 1. 新一代人工智能共性关键技术

#### 1.1 面向复杂场景智能感知的人机物协同基础算法

**研究内容：**针对复杂场景下主体多样、感知交互关系复杂、协同管控困难等问题，从人、机、物的信息主动感知、数据交互融合，开展知识关联推理与协同，人机物协同决策、异常违规感知与优化等研究，突破复杂场景下智能感知与管控难题。

**考核指标：**面向至少 2 个领域的人机物协同，形成不少于 100 万级的群体感知、协同与控制规模，实现复杂环境下的智能推理决策，同一操作系统下，异常违规识别准确性不少于 80%。

#### 1.2 基于高性能异构计算的人工智能算法

**研究内容：**针对人工智能问题求解算法的低效和扩展性差等问题，研究基于高性能异构计算的人工智能问题模型构建，基于新模型的人工智能问题高效算法以及人工智能算法的高效可扩展性；开展基于国产软硬件平台的人工智能算法适配优化技术。

**考核指标：**基于国产高性能异构计算机软硬件平台，面向至少 2 个应用领域，领域新知识的候选挖掘准确率达到 70% 以上，算法的效率相比现有常规算法至少提升 10%。

### **1.3 智能机器人算法快速迭代的数据驱动关键技术**

**研究内容：**面对高性能新兴智能家用机器人的迫切应用需求，针对目前主要采用的“以数据为中心进行决策”方式不智能和不高效问题，研发轻量化/通用/分布式软件开发平台，完成基于仿真的单模块自动化测试的大数据分析与管理，实现数据驱动的自适应算法参数/迭代参数优化，开发基于学习的脱困算法。

**考核指标：**开发轻量化的分布式软件开发平台，单个进程占用内存不超过 4 MB，可兼容不少于三个主流平台，支持多模块分布式开发；利用数据驱动的参数优化方案，实现清扫成功率提高 10% 以上，清扫效率提高 10% 以上，覆盖率提高 10% 以上；研制基于脱困算法的新一代智能家用机器人，新算法脱困成功率优于现有算法 30% 以上，在真实场景下优于竞品算法。

## **2. 新型感知与智能芯片**

### **2.1 存算一体人工智能芯片**

**研究内容：**针对冯·诺依曼架构下人工智能芯片中数据在存储和计算单元间移动占延迟的 80% 和能耗的 90% 而导致的存储墙和功耗墙问题，研究 28nm 工艺下基于忆阻器的存算一体芯片设计，研究存算一体芯片阵列设计/SoC 设计/编译器实现/优化技术，研制高精度/大算力/低功耗存算力一体芯

片。

**考核指标：**研制一种基于忆阻器的高精度存算一体人工智能芯片；芯片尺寸 $\leq 500 \text{ mm}^2$ ；计算能力 $\geq 280 \text{ TOPS}$ ；功耗 $\leq 15 \text{ W}$ ；能耗比 $\geq 20 \text{ TOPS/W}$ ；实现配套的编译器和开发环境。

## 二、先进计算与新兴软件专题

### 3. 先进计算结构与系统

#### 3.1 面向海量结点大规模图计算优化

**研究内容：**针对大规模图计算效率不高的问题，基于国产高性能计算系统，研究高效能大规模图计算优化方法；研究基于大规模计算结点的图压缩优化；研究大规模图通信优化；研究面向海量结点的图遍历优化方法。

**考核指标：**单结点图计算能效 $\geq 1\text{G TEPS/W}$ ，大规模图测试（至少 2048 计算结点）性能 $\geq 10000\text{G TEPS}$ 。

#### 3.2 基于多模态信息的图文理解算法

**研究内容：**针对自然或行业场景图像风格、内容信息、数据质量、尺度和分布等差异较大的问题，研究视觉、语言和时序数据等多模态信息提取和融合算法，研究图文风格检测与信息融合重建算法，研究兼顾精度与效率的端到端图文识别及内容理解算法，并实现模型快速构建与应用端高效部署。

**考核指标：**建立完备的图文识别理论与方法库，分别实现云端和边缘端图文识别行业应用，面向至少 3 个领域数据，实现至少 3 类信息识别和融合，数据处理算法准确率 $\geq 90\%$ 。

### 3.3 面向大规模异构计算系统的知识识别与深度挖掘

**研究内容：**针对人工智能深度学习在知识识别与挖掘方面的不足，突破随机任务调度与资源管理瓶颈，实现基于多中心机器学习环境的并行数据训练，研究面向领域知识的挖掘算法，建立通用的知识构建模型及知识挖掘体系，研究智能知识挖掘算法的可解释性；研究快速识别大规模知识网络中的关键节点、关键路径和关键集群的算法，研究大规模知识网络的高效存储方法。

**考核指标：**面向至少 2 个领域数据，数据处理至少为亿级规模实体数据，数据处理算法准确率 $\geq 90\%$ ；大规模知识网络规模至少为十亿级节点（连边），关键知识节点识别算法速度达到秒级。

## 4. 先进计算创新应用

### 4.1 基于多传感融合的主动交通流管控技术及应用

**研究内容：**针对物流、港口等领域交通流管控质量和效果差等问题，研究相控阵毫米波技术、稀疏压缩感知 MIMO 阵列技术、深度智能电磁调控技术和多传感器异构感知自动融合技术等，将来自前端包括摄像机、毫米波雷达和激光雷达等采集的数据智能融合，完成交通场景下全视野、全天候、高精度的态势感知。

**考核指标：**识别统计精度达到 99.99%；检测范围达到 1000 米；车道数达到 12 车道；同时检测物体达到 600 个；数据通信速度 $< 40$  毫秒或刷新率 $\geq 25\text{Hz/s}$ ；工作环境为全气候全天候。

## 4.2 基于超算的生物医药大数据并行计算技术及应用

**研究内容：**针对生物医药多组学数据有效融合不足的问题，研究基于人工智能的多组学大数据并行计算技术，研究多组学任务和数据映射与调度、多组学数据的有效融合和预测、高效并行计算和数据挖掘方法，建立生物医药大数据智能化应用示范。

**考核指标：**整合分析3种以上多组学生物医药大数据，最高并行算法效率 $\geq 70\%$ ；开发软件2项，申请发明专利3项；在2家以上医院开展应用示范。

## 5. 新兴软件与生态系统

### 5.1 基于国产 SDR 芯片的应急通信系统关键技术

**研究内容：**针对国产芯片的应急通信装备存在传输速率和网络容量等性能指标较差、产品功耗及成本过高等问题，从无线自组网通信波形优化、路由协议、多模切换机制和算法等方面进行基于国产 SDR 芯片的应急通信技术研发，以攻克多模应急通信系统的软件平台优化设计、宽频段/小型化/低功耗硬件平台设计、SDR 平台下的信道估计/均衡以及多模自适应切换及网络拓扑控制协议等关键技术难题。

**考核指标：**兼容多种自组网通信波形，宽带波形 SCFDE（8Mbps）；窄带波形：GFSK，窄带波形传输速率不低于128Kbps，并具备不依赖于卫星的基于通信信号的定位功能；支持自组网、天通、公网三种体制；自组网通信距离（高低拉距）20.0 公里；带自组网传输速率 8Mbps；宽带自组网网络容量 128 节点。

## 5.2 基于根社区的全场景国产操作系统研制及应用

**研究内容：**基于根社区研制全场景国产操作系统，覆盖 IT、CT 和 OT 全场景应用，实现从同一套源码、同一个构建系统，编译出支持不同 CPU 架构二进制程序，并能根据目标设备进行组件灵活配置，构建适应嵌入式、边缘、云和服务器等全场景要求的操作系统“**One For All**”。面向行业特性进行增量定制以替换目前使用的 CentOS/RHEL 版本，达到规模化应用。

**考核指标：**支持按需组装 10MB 级、100MB 级和 1000MB 级的操作系统，同源支持 arm、龙芯、X86 架构；支持隔离 CPU 核、内存和设备，实时抢先进程调度，任务切换达到微秒级，支持跨三层网络冗余通信；支持兼容性诊断与迁移工具，辅助从 CentOS 迁移到国产服务器的全场景操作系统。

### 三、智能传感器专题

#### 6. 智能传感器的设计与制造关键技术

##### 6.1 高性能 SOI 压敏芯片及传感器关键技术

**研究内容：**针对当前压力传感器工作温度范围窄、精度低、稳定性差，不能满足航空和高端工业控制高温、高精度、高可靠的迫切需求，研究宽温区、高精度、高可靠 SOI 压敏芯片综合性能的影响机制及其设计仿真技术；研究 SOI 压敏芯片加工工艺，实现宽温区、高精度、高稳定性的 SOI 芯片的新的制备方法和策略；研究高精度传感器低应力封装集成技术，包括小尺寸低应力封装集成，耐候性防护；研究产品快速低成本测试评估技术并在极端环境下开展应用验证。

**考核指标：**压敏芯片量程：200kPa、700kPa、1.6MPa，类型：覆盖绝压、差压，满量程输出： $\geq 100\text{mV}@5\text{VDC}$ ；工作温度： $-55^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。传感器精度：1.0%FS ( $-55^{\circ}\text{C}\sim -40^{\circ}\text{C}$ ， $125^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ )，0.5%FS ( $-40^{\circ}\text{C}\sim -20^{\circ}\text{C}$ ， $85^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ )，0.3%FS ( $-20^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ )，输出类型：覆盖绝压、差压、表压；输出形式：覆盖数字输出和模拟输出。申请发明专利不少于 3 项，制定标准不少于 1 项。

## 6.2 高精度双轴硅微陀螺设计与制造关键技术

**研究内容：**针对现有双轴硅微陀螺仪体积大、单片集成工艺难与性能失衡等问题，研究高精度面内敏感轴硅微陀螺仪结构设计、单片双轴硅微陀螺仪敏感结构时空解耦设计、高精度制造工艺与低应力集成封装等技术，研制高性能单片双轴硅微陀螺敏感元件及传感器，并进行代表性领域的应用验证。

**考核指标：**单片双轴陀螺敏感元件尺寸 $\leq 5\text{mm}\times 5\text{mm}\times 2\text{mm}$ ，传感器量程 $\geq \pm 500^{\circ}/\text{s}$ ，带宽 $> 200\text{Hz}$ ，零偏不稳定性 $\leq 4^{\circ}/\text{h}$ ，角度随机游走 $\leq 0.25^{\circ}/\text{h}^{1/2}$ ，噪声优于 $0.004^{\circ}/\text{s}/\text{rtHz}$ ，延时 $\leq 0.1\text{ms}$ ，形成原型器件。申请发明专利不少于 2 项。

## 7. 传感器核心材料及部件关键技术

### 7.1 压力传感器用陶瓷材料及敏感元件关键技术

**研究内容：**针对新能源汽车用压力传感器陶瓷件高灵敏度、温度漂移小，实现精准控温等问题，研究材料选型及成型工艺，提高产品抗折强度；研制微型真空度敏感元件及传感器，在新能源汽车空调系统、发动机系统、刹车系统等领

域应用验证。

**考核指标：**陶瓷：体积密度 $\geq 3.75\text{g/cm}^3$ ；弹性模量  $330 \pm 15\text{GPa}$ ；抗折强度 $\geq 380\text{MPa}$ ；体积电阻率 $\geq 1.0 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ ；热膨胀系数： $7 \sim 7.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。陶瓷敏感元件：典型量程（绝压） $1\text{MPa}$ ， $1.6\text{MPa}$ ， $3.5\text{MPa}$ ；满量程容量变化范围 $\geq 4\text{pF}$ ；过载 2 倍。传感器：输入电压  $5\text{VDC}$ ；输出范围  $0.5 \sim 4.5\text{V}$ ；工作温度  $-40^\circ\text{C} \sim 135^\circ\text{C}$ ；精度 $\pm 2\%\text{FS}$ 。传感器在新能源汽车领域实现应用验证；申请发明专利不少于 3 项。

## 8. 面向行业的智能传感器及系统

### 8.1 轨道车辆轴承监测用压电薄膜传感器

**研究内容：**针对我国轨道车辆轴承智能监测技术短板，研究内嵌叉指电极的压电纤维复合材料新结构，设计面向轴承声发射信号监测的压电薄膜传感器，实现压电纤维复合材料细观力学建模与性能预报分析；研究压电纤维复合材料切割-填充-减薄的超精密加工技术和传感器封装技术以及薄膜传感器与轴承嵌入式集成方式，实现轴承故障声发射信号传感与损伤智能识别；开展模拟实验、台架试验与服役现场应用验证。

**考核指标：**薄膜传感器机电性能预测准确率 $\geq 90\%$ ；陶瓷缝宽 $\leq 50\mu\text{m}$ ，减薄厚度 $\leq 300\mu\text{m}$ ；典型故障损伤状态识别准确率 $\geq 90\%$ ；压电薄膜传感器压电常数  $d_{33} \geq 400\text{pC/N}$ ；压电薄膜传感器有效厚度 $\leq 300\mu\text{m}$ ；压电薄膜传感器弯曲半径 $\leq 60\text{mm}$ 。申请发明专利不少于 2 项。



## 8.2 桥梁支座监测用植入式传感芯片

**研究内容：**针对现有桥梁结构健康监测中支座监测的缺失，研究可用于桥梁支座健康监测的专用芯片关键技术，构建桥梁支座健康分析模型；研制内部固化可配置滤波算法、传感器故障模式识别算法及监测数据完好性判断算法的桥梁健康监测专用芯片；基于桥梁健康监测专用芯片开发桥梁支座健康监测系统，实现对桥梁支座压缩变形、剪切变形、受力不均、表面破损、温湿度等关键参量的监测；利用桥梁支座健康监测系统对桥梁支座进行监测，对分析模型进行验证和优化。

**考核指标：**支座健康分析模型准确率 $\geq 90\%$ ，故障识别率 $\geq 95\%$ ；倾角/倾斜测量范围/量程：0~40°/精度 0.1°，应力测量范围/量程：0~100MPa/精度 0.1MPa；桥梁支座监测专用芯片主频： $\geq 160\text{MHz}$ ，工作电压：1.8~3.3V；专利授权数量 5 项以上。完成不少于 1 个典型桥梁监测工程场景示范应用。

## 四、新能源汽车专题

### 9. 氢能动力系统

#### 9.1 大容量金属固态储氢关键技术

**研究内容：**面向氢燃料电池集成系统，针对大体积储氢密度、高安全性金属固态储氢系统在氢燃料电池供氢中的应用需求，开发大容量、大储氢密度金属固态储氢模块。提出具备氢气压强和流量调控与剩余储氢量估算的供氢回路结构。开发金属固态储氢热管理系统样机。研究金属固态储氢温度与吸放氢速率模型，开发金属固态储氢吸放氢控制算法。

**考核指标：**开发大容量、大储氢密度金属固态储氢模块，储氢量 $\geq 20$  kg，重量储氢密度 $\geq 1.4$  wt%，放氢速率 $\geq 10$  kg/h，放氢压强 $\leq 5$  MPa，放氢温度 $\leq 80^\circ\text{C}$ ，放氢氢气纯度 $\geq 99.97\%$ ；放氢量与剩余储氢量计量与估算精度优于 1 kg；氢燃料电池余热利用率 $\geq 12\%$ ；金属固态储氢模块低温（起始温度 $-40^\circ\text{C}$ ）启动时间 $\leq 30$  min；加氢温度 $\leq 20^\circ\text{C}$ ，加氢速率 $\leq 15$  min。申请至少 2 项发明专利。

## 9.2 氢燃料电池膜电极关键技术

**研究内容：**针对重载车辆用质子交换膜燃料电池的技术要求，研究高性能、长寿命、低成本全氟质子交换膜制备技术；研究膜电极阴阳极催化层结构和气体扩散层结构与性能关系；研究边框材料与密封结构；研发膜电极连续工业化制备技术与装备。

**考核指标：**质子膜质子传导电阻 $\leq 0.02 \Omega \text{ cm}^2$ ，氢渗透 $\leq 2 \text{ mA/cm}^2$ ，化学机械混合耐久性 $\geq 20000$  循环；膜电极活性面积 $\geq 200 \text{ cm}^2$ ，Pt 载量 $\leq 0.3 \text{ mg/cm}^2$ ，在 0.62V 电压下电输出性能 $\geq 2 \text{ A/cm}^2$  以及在 0.8V 电压下 $\geq 0.3 \text{ A/cm}^2$ ；抗反极时间 $\geq 120$  分钟（ $75^\circ\text{C}$ ， $0.2 \text{ A/cm}^2$ ），抗 200 次反极电流循环后（ $-10^\circ\text{C}$ ， $0.2 \text{ A/cm}^2$ ，15s），膜电极性能损失 $\leq 5\%$ ；寿命 $\geq 2$  万小时（按燃料电池客车工况测试 5000 小时，性能衰退 $\leq 2.5\%$ ）。

### 9.3 PEM 水电解制氢关键技术

**研究内容：**面向风光电储能、新能源汽车的需求，研究高性能、长寿命、低成本的 PEM 水电解制氢技术；研究膜电极阴阳极催化极配方、处理工艺和气体扩散层结构与性能关系；研究高压质子膜水电解装置及方法；研发高差压 PEM 水电解槽；研究供水量、电流密度变化对 PEM 电解槽性能的影响；开发 PEM 水电解槽连续工业化制备技术与装备。

**考核指标：**电解槽产  $1\text{Nm}^3$  氢气耗电  $\leq 4.2\text{kWh}$ ，电解槽持续运行时间  $\geq 3$  万小时（持续工作状态下的衰减速率稳定在  $0.4\sim 15\ \mu\text{V/h}$ ）；出氢压力  $\geq 7\text{Mpa}$ ，Pt/C 载量  $\leq 0.2\text{mg/cm}^2$ ，膜电极电流密度  $1.6\text{A/cm}^2@2.0\text{V}$ ；电解槽电解效率  $\geq 91\%$ ，电解槽使用寿命  $\geq 15$  年，膜电极性能损失  $\leq 5\%$ 。

## 10. 电驱系统

### 10.1 高效大功率 SiC 集成式电控关键技术

**研究内容：**研究基于自主芯片的高效设计封装技术、集成驱动高压拓扑架构、SiC 芯片 900V 耐压稳定性技术、高功率密度总成集成技术；研究多控制器深度集成复用技术。

**考核指标：**电机最大扭矩： $600\text{Nm} \times 2$ ，电控最高效率  $\geq 99\%$ ；最高工作电压 900V；总成主驱最大功率  $200\text{kW} \times 2$ ；总成平均工况效率  $\geq 91\%$ ；设计寿命不少于 10 年。实现在新能源汽车的示范应用。

### 10.2 新能源特种车辆大功率电驱系统关键技术

**研究内容：**针对特种车辆大功率电驱动系统性能需求，

研究基于高速通讯与功率预测的多机实时协调控制技术；研究基于电动驱动器无需车速的牵引防滑控制方法、基于方波电流瞬态控制的永磁同步电机控制技术；研究宽温度域驱动控制器一体集成优化技术。

**考核指标：**研制轮式特种车辆电驱系统、履带式 EMT1000 电驱系统、EMT800 电驱系统、EMT500 电驱系统。新产品驱动电机峰值功率密度 $\geq 1.18\text{kW/kg}$ ，电机控制器功率密度 $\geq 15.5\text{kW/L}$ ，转矩稳定误差 $\leq 3\%$ 。

### **10.3 面向新能源汽车运行安全的驱动电机诊断与监测技术**

**研究内容：**研究新能源汽车用 PMSM（永磁同步马达）故障失效机理；研究基于图像视觉特征的电机状态监测与故障诊断方法、基于电机驱动器的故障诊断与预测方法；开发基于软磁材料周期性过饱和原理的 PMSM 故障诊断与预测系统。

**考核指标：**开发新能源汽车监测预警平台应用，满足永磁驱动电机故障诊断与预测技术使用需求，诊断准确率 90% 以上；诊断时间小于 0.5s；虚警率 10% 以内。

### **10.4 新能源汽车分布式驱动系统关键技术及应用**

**研究内容：**研究高转矩密度轮毂/轮边电机多物理场协同仿真与设计、高精度转矩控制、转矩脉动与噪声抑制方法；研究分布式驱动与分布式制动的创新构型，突破新能源汽车分布式驱动系统轴间和轮间转矩分配技术，实现全轮制动能量回收、驱动防滑和直接横摆力矩等控制策略。

**考核指标：**形成具有高转矩密度，高精度转矩控制性能的轮毂电机驱动产品和具有行业引领性的高效、高安全性分布式驱动整车控制技术。峰值转矩与总成重量比高于40Nm/kg，连续比功率 $\geq 2\text{kW/kg}$ ，轮毂电机总成系统最高效率 $\geq 92\%$ ，在额定转速点轮毂电机总成1米噪声总声压级小于68dB。轮毂电机总成实车搭载，实现不少于3个工况的操纵稳定性国标测试且评价，平均分 $\geq 90$ ，低附路面车辆加速能力提升20%以上，路面附着系数利用率超过90%。

### 10.5 新能源汽车高性能电驱轴承关键技术

**研究内容：**研究新能源汽车高速轴承单元设计理论与方法；研究高速电驱轴承动态载荷传递路径及轴承动静刚度服役性能演变特性；研究轴承保持架动力学特性与结构设计方法；研究轴承单元主动散热系统及热管理方法；研究轴承单元可靠性设计及性能评价方法与体系。

**考核指标：**开发高性能电驱轴承单元设计方法及软件1套；研制高速电驱轴承单元原理样机1台，轴承最高旋转速度 $DmN$ （中心径 $\times$ 转速）大于 $1 \times 10^6 \text{mm.r/min}$ ，轴承单元设计寿命 $\geq 1 \times 10^6 \text{km}$ ；开展动力热循环耐久性、机械冲击和振动等相关耐久性试验，性能满足设计要求；申请发明专利 $\geq 3$ 项。

## 11. 新能源汽车总成及应用

### 11.1 面向电动工程车的高电压平台关键技术

**研究内容：**针对电动工程车存在充电时间长等问题，开发800V高压的电动工程车多合一控制器及双电机控制器，

开发满足 800V 及以上高压的 DCDC、PDU、气泵控制器、油泵控制器、中央直驱电机和电驱桥，开发 800V 及以上油泵电机、气泵电机、空调压缩机、PTC、直流充电座等高压部件；试制 800V 及以上电动工程车电驱桥和中央直驱的样车及测试，建设 360kW/1000V 充电桩及整车充电测试，开展各电机系统标定与匹配测试。

**考核指标：**高电压平台最高允许工作电压 1000VDC；80% SOC 充电时间缩短 25%，充电时间 $\leq 30\text{min}$ ；15min 充电电量 $\geq 90\text{kWh}$ ；允许直流充电最大功率 400kW；驱动系统额定功率可适配 250~300kW，峰值功率可适配 360~500kW。

## 12. 结构仿真软件

### 12.1 汽车结构件刚度强度性能仿真分析软件开发

**研究内容：**针对当前汽车结构件刚度、强度仿真分析软件完全依赖国外、计算自动化程度低等问题，研究面向复杂结构的低阶高精度单元计算理论，开发分析计算的高效建模工具；开发常规隐式格式下弹性、弹塑性等通用本构模型满足汽车常用材料的分析计算需求；开发汽车部件连接中 MPC、刚性连接等连接单元；开发高拓展性的方程组直接求解器；设计高效 CAE 软件架构，开发前后端协同交互软件工具，实现多工况下的汽车结构件的刚度、强度分析等，完成国产硬件与国产操作系统适配，在汽车白车身等典型结构件进行应用验证。

**考核指标：**形成国产通用的汽车结构件刚强度性能仿真分析软件 1 套，包含前处理、求解器和后处理模块，大规模

线性方程组直接求解模块等核心代码完全自主可控，软件能够适配国产服务器；软件支持汽车结构件刚度、强度分析工况的向导式建模、高效计算，其中刚度工况包含白车身弯曲扭转刚度、轮罩刚度等刚度不少于 8 种；强度工况包含车身静强度、钣金件强度等不少于 5 种；软件分析计算结果与试验或国外主流工具对标偏差小于 5%，软件分析计算效率不低于国外同类型工具，并实现国产替代。软件能够适配飞腾、鲲鹏等国产服务器及相应的国产操作系统。登记软件著作权  $\geq 1$  项，在 2 家以上汽车及其配套企业的 20 个以上实际产品设计计算中得到应用迭代。

## 五、先进储能技术专题

### 13. 电池关键材料

#### 13.1 高比容量富锂锰前驱体关键技术

**研究内容：**针对富锂锰基材料首次库伦效率低、循环性能差和电压衰减等问题，研究富锂锰前驱体结构和掺杂元素对正极材料及电池性能的影响机理；研究富锂锰前驱体关键制备工艺；研究基于原位掺杂、微结构调控技术构筑表面多相稳定结构的关键技术。

**考核指标：**富锂锰前驱体制备的正极材料压实密度  $\geq 2.9\text{g/cm}^3$ ；充放电电压 2.0~4.6V，0.1C/0.1C 充放电制度下全电池容量  $\geq 260\text{mAh/g}$ ；充放电电压 2.5~4.4V，全电池（vs 石墨负极）1C/1C 充放电制度下常温循环 1000 次循环保持率  $\geq 80\%$ ；平均每周期电压下降  $\leq 1\text{mV}$ 。

### 13.2 高镍无钴正极材料关键技术

**研究内容：**针对钴资源分布不均，高镍无钴正极结构稳定性差，循环寿命不佳等问题，研究高镍无钴正极材料晶体结构设计与稳定化策略，探究高镍无钴正极材料晶体结构演变与掺杂元素之间的耦合机制；研究高镍无钴正极材料反应动力学与安全性改善策略；研究高镍无钴正极材料低成本化路线及制造技术。

**考核指标：**成功制备高镍无钴动力正极材料，充放电电压 3.0~4.3V，0.1C/0.1C 充放电制度下，正极材料能量密度>800Wh/kg，循环寿命>1200 次；安全性能达到或超过行业标准水平，材料成本相比同类三元材料降低 10%以上；全电池 1C/1C 充放电制度下常温循环 2000 次循环保持率 $\geq$ 80%。

### 13.3 先进硅基负极材料关键技术

**研究内容：**面向下一代“高比能量、长循环、高首效”锂离子动力电池对高性能负极材料的需求，针对硅基负极材料初始效率低、体积膨胀大的问题，研究纳米硅基负极材料制备与液相包覆改性技术；研究包覆粘结剂分子结构与硅基负极性能间的构效关系；研究硅基负极材料高首次库伦效率与循环稳定性改性策略；研究硅基负极材料低成本制备技术。

**考核指标：**成功制备硅基锂离子电池负极，硅基锂离子电池负极材料扣式电池测试比容量 $\geq$ 2000mAh/g，首次库伦效率 $\geq$ 90%，实效电池测试常温 1C/3C 循环 1000 周后，材料结构保持稳定，电池容量保持率 $\geq$ 80%。



### 13.4 固态电解质关键技术

**研究内容：**针对固态电解质离子电导率低、机械性能差和电化学窗口较窄等问题，研究开发纳米固态电解质材料制备技术，研究体相掺杂对固态电解质材料分子结构以及理化性能的影响机制；研究固态电解质材料表面官能团种类与构成对电解质-电极界面的作用机理。

**考核指标：**完成一种制备固态电解质材料的配方及工艺路线设计；固态电解质样品一次颗粒的中粒径小于 150 nm，离子电导率大于  $10 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ ，电子电导率小于  $5 \times 10^{-9} \text{ S/cm}$ ；建设 100 kg/天产能的固态电解质材料示范试验线。

## 14. 电池绿色制造

### 14.1 电池储能系统集成关键技术及应用

**研究内容：**针对电池储能系统集成存在的设备选型适配差、集成技术落后、集成产品通用性弱、集成后系统运行效率低等问题，研究高密度电芯、电池管理系统、储能变流器、能量管理系统、消防与安防系统等终端选型适配；研制百兆瓦级以上电池储能系统集成所需的能量管理系统、协调控制器、储能变流器、等核心产品模块；开展电池储能系统应用示范及性能优化提升。

**考核指标：**开发出百兆瓦级电池储能系统产品，能量转换效率 $\geq 93\%$ ，簇内电池单体最大温差 $\leq 5^\circ\text{C}$ 。在电源侧、电网侧、用户侧构建 2~3 个具有示范意义的样板工程。

## 15. 大规模储能

### 15.1 大规模压缩空气储能关键技术

**研究内容：**针对压缩空气储能系统储气库选址要求与现有盐穴、矿井、废弃油井资源不匹配，压缩空气储能响应慢，能量转化效率偏低的问题，研发先进绝热变工况压缩空气储能设备及系统；研究压差滑动对储气库规模及系统效率的影响；研究地下储气库经济洞形选择模式；研究不同应用场景收益方式及电价机制模式；研究地下大断面高压储气库密封与地下高压储气库稳定技术；研究地下高压储气库安全监测技术。

**考核指标：**形成大规模压缩空气储能工艺系统动态仿真模型，实现先进绝热变工况压缩空气储能设备及系统样机，同时设计 2 种工艺系统路线；100MW 级以上压缩机选型压缩段效率 $\geq 82\%$ ，膨胀机选型膨胀效率 $\geq 90\%$ ，储气库能量损失 $\leq 5\%$ ，系统总体效率 $>60\%$ 。

### 15.2 高可靠性高压储氢压力容器设计制造技术

**研究内容：**对多层包扎式高压氢气储罐的材料、设计、制造、检验、风险评估等工程技术进行系统的理论与模拟分析、结构力学分析、有限元数值模拟分析，开展临氢条件下的材料性能试验、制造成型工艺、焊接工艺、层板包扎工艺、检测检验技术、未爆先漏试验等试验研究。系统解决储氢容器的高压临氢环境下的氢脆失效风险，高压循环操作下的塑性垮塌、疲劳失效风险，优化高压储氢容器结构，提升产品品质、安全性与经济性。

**考核指标：**储氢高压容器单罐储氢量 $\geq 200$  kg，设计压力:50Mpa~98Mpa,疲劳寿命不低于 5.5 万次,设计温度:-40℃~85℃，氢气泄漏率低于  $10^{-7}$ pa·m<sup>3</sup>/S，具有容器覆盖的氢气泄漏在线检测功能，并进行工程示范应用。开发出配套的钢材和焊接材料，达到焊缝和钢板在高压氢气环境下具有同等性能。

## 六、智能电网专题

### 16. 电力基础材料与器件

#### 16.1 高海拔特高压电气装备用空心瓷绝缘子

**研究内容：**针对海拔 3400~3800 米高度，空气稀薄和地震易发的特殊气候条件和地质状况，研究电气性能和机械性能安全可靠的大尺寸规格的电站需求的特高压 1000kV GIS 出线套管用空心瓷绝缘子设计技术；研究高海拔地区空气密度低，抗电强度下降，外绝缘闪络电压下降条件下的特高压 1000kV GIS 出线套管用空心绝缘子的电气性能的可靠性；研究高海拔地区地震易发的地质状况下，特高压 1000kV GIS 出线套管用空心绝缘子的超高抗震性能（地震强度 8 级）和机械性能。

**考核指标：**研发出适用于高海拔地区(海拔 3400 米~3800 米高度、地震强度 8 度、地震动峰值加速度 0.20g)用特高压 1000kV GIS 出线套管用空心瓷绝缘子，产品安全系统符合国家标准；产品主要尺寸：高度 12680mm $\pm$ 60mm、最小干弧距离 12000mm、最小爬电距离 46300mm；技术指标：弯曲强度 370kN·m，内水压强度 3.4 兆帕。

## 17. 变电装备

### 17.1 500kV 天然酯植物油变压器

**研究内容：**针对高压变电装备绿色低碳转型发展需求，研究-20℃~140℃宽温度窗口内的植物油物理特性与化学特性；搭建 500kV 典型的油纸复合绝缘试验系统，研究水分迁移特性及其油隙的介电强度；研究 500kV 变压器主要绝缘材料（纸绝缘板、绝缘纸、白布带以及酚醛面板等）、涂层（结构件表面的油漆、电磁线的漆膜以及硅钢片的漆膜等）与植物油的相容性；研究变压器电、磁、热、机械应力与安全裕度建模与结构优化方法，提出适应植物油电气参数、流体参数特征的变压器绝缘设计方法、绕组与结构件温升保障方法与局放控制方法；研究满足 500kV 变压器品控要求的植物油处理工艺、总装工艺。

**考核指标：**建立满足 500kV 变压器工艺要求的油处理工艺流程、总装工艺流程；提出适应植物油电气参数、流体参数特征的变压器绝缘优化设计，绕组与结构件温升全场域数值模拟与局放控制的方法；研制 1 台额定电压 500kV、单相额定容量 334MVA 的植物油变压器；申请发明专利 5 项。

### 17.2 高能效非晶合金立体卷铁心变压器

**研究内容：**针对配电变压器低损耗、高能效技术需求，研究铁芯绕制应力控制及退火工艺控制技术；研究内绕组结构、短路电动力传导、器身紧固与非晶铁芯支撑、压敏性之间矛盾的解决方案与工艺；研究铁芯卷绕力、夹持力，磁密选择，噪声波传道阻隔解决方案与工艺。

**考核指标：**开发出高能效非晶合金立体卷铁心变压器产品，铁芯退火合格率达到 99%；630KVA 容量及以下，抗突发短路能力 100%通过；空载损耗下降约 75%，空载电流下降约 80%；铁轭部分用材量比传统变压器减少 25%；运行噪音低于 45dB，变压器能效等级达到 1 级。

## **18. 电线电缆**

### **18.1 液冷直流充电桩电缆关键技术**

**研究内容：**针对传统电动汽车用充电电缆发热引起绝缘老化、充电效率降低等问题，研究直流充电桩电缆的液冷方案及热传递模型；开展原材料及其附件选型设计和样品研制；开展电缆载流量试验，验证成品液冷电缆在充电运行状态载流量是否符合设计预期；开展电缆弯曲性能试验，验证电缆在频繁移动的工况下能长期有效运行。

**考核指标：**开发出带冷却装置的液冷电缆产品，产品 35mm<sup>2</sup>截面的液冷电载流量达到 500~800A，实现在充电站应用示范。

## **19. 电网建设与运维**

### **19.1 农配网架空线路防冰雪关键技术与应用**

**研究内容：**针对极端严寒气候下农配网架空线路抵御冰雪灾害能力提升问题，研究农配网线路微地形、微气象覆冰雪预测方法；研究农配网绝缘导线覆冰与融冰机理；研究农配网主线与支线快速融冰方法；研究农配网沿线树竹覆雪后防压线方法；研制基于自分合智能开关的配网快速交流融冰装置、基于共振原理的树竹振动除雪装置和超 10 米可伸缩

轻量电动剪枝装置；开展农配网新型交流融冰装置、树竹振动除雪装置和满足线路附近树竹剪枝的电动剪枝装置工程示范应用。

**考核指标：**研发出农配网快速交流融冰、树竹振雪与可伸缩电动剪枝产品，核心技术指标达到国际领先水平，具体指标参数：融冰装置融冰时间<30 分钟；振雪装置激振力 $\leq$ 500kg，重量<20kg；剪枝高度>10 米，剪枝重量>6kg。

## 19.2 新型电力系统频率和电压主动支撑关键技术

**研究内容：**针对新能源高占比和多直流馈入的新型交直流混联弱电网对频率和电压主动支撑的迫切需求，研究基于数据驱动和物理机理相结合的新能源场站频率和电压调节策略，开展新型电力系统全数字和半实物仿真研究，评估基于运行态势的源荷在线频率电压调节能力，提出基于多智能体主从一致性的频率电压协同调节范式，攻克基于分布式全局优化架构的源荷频率电压互动调节模态；研究基于多目标优化的频率电压多功能集控调节形态，构建面向源-网-荷-储新型电力系统频率电压动态调节的新能源场站主动支撑关键技术体系，并开展电力系统应用示范。

**考核指标：**形成频率电压调节能力在线评估技术 1 套，形成湖南新能源场站频率电压主动支撑技术及并网指标标准 1 套，具体参数：应用电网多源新能源占比 $\geq$ 50%，惯量评估精度 $\geq$ 90%，频率和电压波动最大偏差和最大速率指标性能提升 80%，源荷互动调节响应时间 $\leq$ 300ms，实现主动

支撑能力的风电场站惯量支撑能力大于 5 秒，研制主动支撑的风储协同场站级协调控制器 1 个，开展电网示范应用 2 项。

### **19.3 面向源荷不确定性抑制的储能型先进电能调控技术与装备**

**研究内容：**针对新型电力系统电能质量问题复杂、惯量特性低、电压调控难等一系列电能调控问题，开展面向源荷不确定性抑制的储能型先进电能调控技术与装备研究，主要内容包括：研究储能型电能调控装备的拓扑结构、工作原理、电磁特性与运行特性；研究面向新能源并网功率波动抑制、电压稳定控制与惯量支撑的多功能储能型电能调控技术；研究混合储能型非线性冲击性负荷功率柔性控制与错峰补偿技术、瞬时输出强功率的实时跟踪与独立解耦方法；开展储能型电能调控技术装备研发与示范。

**考核目标：**提出储能型电能调控装备新型拓扑 $\geq 2$ 种；新能源并网侧有功功率变化速率 $\leq 10\%/分钟$ ，功率因数 $\geq 0.97$ ，谐波滤除率 $\geq 90\%$ ；冲击性负荷侧功率平抑率 $\geq 90\%$ 、补偿响应时间 $\leq 50ms$ ，电池储能充放电倍率 $\geq 5C$ ；研制适用于新能源并网、岸电等场景的储能型先进电能调控装备 1 套，并开展技术示范。

## **20. 新能源装备**

### **20.1 光伏组件高透防污涂层制备关键技术及应用**

**研究内容：**针对光伏组件光电转换效率提升瓶颈问题，开发能有效提高发电效率的减反增透防污涂层；研究组分-

工艺-镀膜-结构-性能交互关联的涂层调控制备技术；研究全自动均匀镀膜技术；开展涂层稳定性与可靠性测试，实现涂层的典型示范应用。

**考核指标：**研制出减反增透防污涂层产品，满足高功率组件、光伏建筑一体化组件、无色差组件、高耐候组件镀膜要求。产品单层减反防污镀膜光透过率增加 2.5%，多层减反防污镀膜光透过率增加 3%，光伏组件发电量增益 3~5%。开展技术集成示范，镀膜应用面积>5000m<sup>2</sup>。

## 20.2 超长柔性高可靠性聚氨酯风电叶片

**研究内容：**针对风电叶片大型化对绿色高性能材料应用需求，研究风电叶片用聚氨酯树脂及其复合材料性能，开发国产高性能聚氨酯树脂，根除原材料“卡脖子”技术风险；研究国产聚氨酯应用工艺特性，解决微量水份对高分子材料性能的影响，实现超长柔性聚氨酯叶片的高质高效制备；研究匹配超长柔性聚氨酯叶片的新型结构形式，进一步提升叶片轻量化水平；开展研究新型结构聚氨酯柔性叶片部件级测试，验证叶片设计准确性，探索叶片设计安全系数优化可行性，保障叶片长期运行可靠性。

**考核指标：**完成国产高性能聚氨酯材料开发，及其复合材料体系的力学性能系统测试，形成材料体系数据库；国产高性能聚氨酯复合材料的成型工艺相较常规风电叶片工艺灌注效率提升 50%，固化效率提升 30%；建立聚氨酯体系复合材料风电叶片测试标准；完成 1 款陆上超长柔性聚氨酯风



电叶片开发，叶片长度 $\geq 90$ 米，匹配整机功率 $\geq 6\text{MW}$ ，重量较同等级常规叶片降低5%，设计寿命 $\geq 20$ 年。

## 七、现代石化专题

### 21. 新型催化剂

#### 21.1 等离子体氢-氨转换催化剂制备技术

**研究内容：**针对现有氢-氨转换哈伯法存在碳排放高、反应条件苛刻等问题，研究常温常压条件下低碳排放等离子体催化高效制氨催化剂；研究纳秒脉冲放电等离子体催化制氨技术，自主搭建纳秒脉冲放电电源及催化反应系统；研究高效制氨催化新材料协同等离子体催化制氨的机理。

**考核指标：**研发常温常压下合成氨催化剂至少 1 种，研发纳秒脉冲放电等离子体合成氨装置 1 套。等离子体氢-氨转换催化剂技术系统指标达到反应温度 $<200^{\circ}\text{C}$ ，反应压力 $<0.2\text{ MPa}$ 时，产氨速率 $\geq 100\text{ mg/g/h}$ ，应在 $100\text{g/h}$ 产氨装置实现。

### 22. 化工原料

#### 22.1 高纯氢化双酚 A 合成技术及其氢化催化剂制备技术

**研究内容：**针对氢化双酚 A 制备反应不完全、反应温度难以精确控制造成氢化副反应增加、影响收率和催化剂寿命等问题，研究适用于双苯环官能团加氢的低温、高活性、高选择性加氢催化剂制备技术；研究高效低成本双酚 A 氢化新工艺；研究分离提纯工艺及降膜蒸馏提纯技术。

**考核指标：**氢化双酚 A 产品纯度达到 95%以上，产品性能达到同类进口产品。研制应用于氢化双酚 A 制备的加氢催化剂，对标现有同类催化剂，需具有寿命长、高活性、分散

性和稳定性好、脱水和醚化副产物少、制备成本低等优势，应在年千吨级氢化双酚 A 生产装置实现应用示范。

## **23. 高性能化工新材料**

### **23.1 连续玻璃纤维增强聚酰胺热塑性复合材料制备技术**

**研究内容：**面向高性能连续玻璃纤维热塑性复合材料国产化替代需求，研究热塑性基体树脂配方设计及其成膜工艺优化；研究纤维织物单元结构、铺层结构对纤维与基体树脂的界面相容性及其复合材料强度的影响；研究双重复合制品结构设计、有限元仿真计算及成型工艺等关键技术。

**考核指标：**制备出连续玻纤增强聚酰胺复合材料达到或优于国内外同类产品性能指标，技术指标中拉伸强度 $\geq 390\text{MPa}$ 、弯曲强度 $\geq 580\text{MPa}$ 、弯曲模量 $\geq 20\text{GPa}$ 。至少在 1 个工程化项目中获得应用示范。

### **23.2 电子级环氧树脂制备技术**

**研究内容：**针对电子级高端特种环氧树脂自主可控生产需求，研究展邻甲酚醛环氧树脂的成套基础工业技术优化，研究实现 DCPD 苯酚型以及苯酚亚联苯型环氧树脂的成套技术中试及扩大生产工艺，研究四甲基联苯、三苯酚甲烷型多官能团环氧树脂的小试工艺技术。

**考核指标：**完成四甲基联苯、三苯酚甲烷型多官能团环氧树脂的开发，具体指标参数达到国际先进水平。DCPD 苯酚型环氧树脂：EEW：235~255，软化点  $45^{\circ}\text{C}\sim 63^{\circ}\text{C}$ ，总氯 $\leq 750\text{ppm}$ 。亚联苯型环氧树脂：EEW：260-285，软化点：

45°C-65°C，总氯 750ppm 以下。四甲基联苯环氧树脂：EEW：182-197，总氯 $\leq$ 750ppm。三酚基甲烷型环氧树脂：EEW：158-178，软化点 62°C-72°C，总氯 $\leq$ 750ppm，技术指标应在年百吨级生产装置实现应用示范。

### **23.3 高耐温及高效光热聚酰亚胺材料制备技术**

**研究内容：**针对聚酰亚胺有机化学键能有限，热分解温度低等问题，研究聚酰亚胺树脂分子结构设计、合成方法选择与合成工艺；研究耐高温聚酰亚胺树脂成型技术；研究耐高温聚酰亚胺树脂耐磨改性。研究光热聚酰亚胺制备技术。

**考核指标：**形成高耐温聚酰亚胺树脂和型材产品，核心技术指标达到国内先进水平。聚酰亚胺树脂：密度  $1.40 \pm 0.05\text{g/cm}^3$ 、拉伸强度（23°C） $\geq 75\text{MPa}$ 、弯曲强度（23°C） $\geq 95\text{MPa}$ ；压缩强度 $\geq 100\text{MPa}$ ；简支梁无缺口（型材）：冲击强度 $\geq 25\text{MPa}$ 、玻璃化转变温度 $\geq 330^\circ\text{C}$ 、热变形温度（1.8MPa） $\geq 300^\circ\text{C}$ 、5%热分解温度 $\geq 530^\circ\text{C}$ 、热线性膨胀系数 $\leq 7 \times 10^{-5}/\text{K}$ 、摩擦系数 $\leq 0.3$ 。具有光热效应的聚酰亚胺材料实验室制品具体指标参数：稳定性 $\geq 3$ 年，耐候性 $\geq 3$ 年，吸收率 $\geq 0.9$ ，发射率 $\leq 0.1$ ；应在至少 1 个工程化项目中实现应用示范。

### **23.4 环保型石墨烯改性硅钛纳米重防腐涂料制备技术**

**研究内容：**研究石墨烯、纳米硅钛协同改性配方技术，研究石墨烯改性硅钛纳米涂料一体化整合制备技术。研制石墨烯改性硅钛纳米重防腐涂覆新材料。

**考核指标：**开发石墨烯、纳米硅钛协同改性配方技术以

及石墨烯改性硅钛纳米涂料一体化螯合制备技术。产品具体指标参数： $\text{VOC} \leq 100\text{g/L}$ ，附着力(拉开法) $\geq 11\text{MPa}$ ，硬度 $\geq 3\text{H}$ ，耐酸碱盐性、耐盐雾性、耐热性、耐湿热性优异，正常使用下，1500h，稳定，无起泡，无脱落，无开裂；应在至少 1 个工程化项目中实现应用示范。

### **23.5 高品质苯甲酸绿色制造关键技术**

**研究内容：**研究苯甲酸连续生产技术；研究苯甲酸精制技术及设备设计；研究反应副产物中回收苯甲酸技术；研究能源综合利用技术。

**考核指标：**实现批量化苯甲酸产品，其核心指标达到如下要求：采用高效液相色谱法，苯甲酸含量： $\geq 99.99\text{wt}\%$ ；邻苯二甲酸酐含量： $\leq 50\text{ppm}$ ；联苯类含量 $\leq 50\text{ppm}$ 。苯甲酸回收率可达 80%以上。反应余热全部回收利用。

### **23.6 新一代己内酰胺成套工艺关键催化材料制备技术**

**研究内容：**研究开发烷氧基铝连续合成制备技术和连续均质水解工艺，实现原料连续进料和烷氧基铝连续出料；实现物料间的快速分散、均质水解以及产物的快速分离；研究开发专用的氢氧化铝溶胶-球形凝胶成型技术，实现连续稳定滴球成型；研究贵金属原子层负载的合成工艺制备技术，攻克世界公认科学难题，开发出独创的负载型苯选择加氢催化剂；研究开发高效耐磨氢微球载体关键制备技术和高通量的过滤分离技术，满足高氢效、高氧化收率、高浓度的浆态床蒽醌加氢制双氧水催化剂的生产；开展醋酸环己酯加氢制备环己醇催化剂关键工程技术研究，实现工业应用；开展移动

床环己酮肟气相重排制己内酰胺催化剂关键工程技术研究，实现工业应用。

**考核指标：**高纯氧化铝收率 $\geq 98\%$ 、氧化铝含量 $\geq 70\%$ 、杂质总含量 $\leq 0.01\%$ 、孔体积 $\geq 0.4 \text{ ml/g}$ 、比表面积 $\geq 200 \text{ m}^2/\text{g}$ ；微球载体产品收率 $\geq 90\%$ 、压碎强度 $\geq 40 \text{ N/粒}$ 、磨损率 $< 3\%$ ；苯选择加氢催化活性指数（ $\gamma_{50}$ ） $\geq 300 \text{ g 苯}/(\text{gRu}\cdot\text{h})$ ，苯转化率 50%时的环己烯选择性 $\geq 75\%$ ；乙酸环己酯加氢催化剂侧压强度均值范围为  $200 \text{ N/cm}$ ，转化率 $> 99.5\%$ ，环己醇选择性 $> 99.5\%$ ；浆态床蒽醌加氢催化剂氢效 $\geq 12 \text{ g/L}$ ，整体达到国外同类催化剂产品性能水平；气相贝克曼重排催化剂压碎强度 $\geq 20 \text{ N/粒}$ ，转化率 $> 99.5\%$ ，选择性 $> 96\%$ ；实现工程化应用。

## 24. 化工材料火安全技术

### 24.1 火安全先进高分子材料制备技术

**研究内容：**针对当前高分子材料的易燃的技术难题，围绕以天然橡胶为代表的火安全天然高分子材料、以酚醛树脂为代表的火安全有机高分子材料、以硅橡胶为代表的火安全无机高分子材料，研究各类高分子材料的燃烧行为、热释放行为、热传导行为、烟气产生及其阻燃机理、抑烟机制，研究实现高分子材料火安全性的作用机理，构建材料火安全性与其它功能的协调机制；研究火安全材料及部件的可靠性验证及优化技术，形成工艺体系及工程化成套技术，建立轨道车辆用火安全先进高分子产品规模化产业平台。

**考核指标：**火安全天然橡胶减振产品满足 EN45545-2 R9

要求 HL-2 等级，最大平均热释放速率  $MARHE \leq 90 \text{ kW/m}^2$ ，烟密度  $D_s \leq 600$ ，烟毒性  $CITG \leq 1.8$ ，产能  $\geq 80$  万件/年。火安全酚醛树脂产品满足 EN45545-2 R1 要求的 HL-3 材料防火等级以及 EN45545-3 的 E30、I15 结构防火等级，导热系数  $\leq 0.04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ，产能  $\geq 30000 \text{ m}^2$ （板）/年。火安全硅橡胶泡沫产品满足 EN45545-2 R21 要求的 HL-3 等级，导热系数  $\leq 0.08 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ （密度  $\leq 100 \text{ kg/m}^3$ ），产能  $\geq 20000 \text{ m}^3$ /年。

## 24.2 本征阻燃尼龙 6 树脂制备技术

**研究内容：**针对传统添加型阻燃尼龙材料着色性能差、密度高、物性低、阻燃剂于高温高湿环境中易析出、环境不友好等行业难题，研究反应型阻燃剂和聚合物分子结构设计；研究尼龙 6 树脂聚合物结构与本征阻燃性能间的构效关系；研发无卤本征阻燃尼龙 6 树脂合成工艺；研究无卤阻燃增强尼龙 6 材料制备技术。

**考核指标：**本征阻燃尼龙 6 树脂：极限氧指数达到 30，拉伸强度  $\geq 58 \text{ MPa}$ ，断裂伸长率  $\geq 3\%$ ，弯曲强度  $\geq 68 \text{ MPa}$ ，冲击强度  $\geq 4 \text{ kJ/m}^2$ 。本征型无卤阻燃增强尼龙 6 材料：极限氧指数为 32，拉伸强度  $\geq 155 \text{ MPa}$ ，断裂伸长率  $\geq 2.5\%$ ，弯曲强度  $\geq 240 \text{ MPa}$ ，冲击强度  $\geq 10.5 \text{ kJ/m}^2$ ，密度  $1.36 \text{ g/cm}^3$ 。建成年产 300 吨本征阻燃尼龙 6 树脂中试生产线。

## 八、新型合金材料专题

### 25. 原材料

#### 25.1 芯片刻蚀机用高性能 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 粉体及其涂层制备技术

**研究内容：**研究高松装密度、高纯度球形  $\text{Y}_2\text{O}_3$  粉体制

备工艺，研究喷雾造粒工艺及研制专用装备，研究高致密度  $Y_2O_3$  涂层优化设计与制备工艺，开展高性能  $Y_2O_3$  粉末与喷涂技术之间的工艺适配性研究。

**考核指标：**突破刻蚀机工艺腔内表面耐大功率等离子体侵蚀的关键技术，产品指标参数要求： $Y_2O_3$  粉体：纯度  $\geq 99.95\%$ ，松装密度  $\geq 1.75g/cm^3$ ，粉体粒度  $D_{50} < 35\mu m$ ； $Y_2O_3$  涂层，孔隙率 3~5%，硬度 400~450HV，结合强度 15~25MPa，表面粗糙度 2~6 $\mu m$ 。高能  $CF_4/O_2$  等离子轰击试验涂层刻蚀速率为  $\leq 6nm/min$ 。在至少 1 个工程化项目中实现应用示范。

## 26. 高性能合金材料

### 26.1 低模量高强度锆、钽、钛基材料开发与应用

**研究内容：**研究低模量高强度锆、钽、钛合金制备技术；开展锆钽钛材料弹性模量、力学性能研究；锆、钽、钛材料表面多孔结构的构建；高端锆、钽、钛基在医用领域的应用研究。

**考核指标：**锆、钽、钛基材料：弹性模量 70GPa；抗拉强度  $\geq 600Mpa$ ；材料延伸率  $\geq 15\%$ ；孔隙率：30%~80%；经电化学腐蚀和表面处理后的表面氧化物膜能有效防止合金被继续腐蚀并有消炎和载药功能；摩擦系数：0.42；抗菌性：对变形链球菌、牙龈卟啉单胞菌的抑菌区分别为  $13.5 \pm 1 mm$ 、 $14.6 \pm 0.4 mm$ ；细胞毒性：0 级；获得行业应用许可，开发出两个以上新医用新产品。

### 26.2 航空航天用超高强耐高温镁合金结构件制备技术

**研究内容：**针对航空航天用高性能变形镁合金材料塑性



加工工艺难题，研究高稀土镁合金多向锻造/挤压开坯、高稀土镁合金结构件模锻近净成形及形变强化、高稀土镁合金锻件热处理强化等关键制备技术。

**考核指标：**镁合金结构件产品室温抗拉强度 $\geq 420\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 300\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 6\%$ ；高强耐热镁合金材料150℃力学性能：抗拉强度 $\geq 310\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 210\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 15\%$ ；至少在2种航空航天装备产品中应用示范。

### 26.3 核级机械密封用硬质合金制备技术

**研究内容：**研究核工业用高性能特种硬质合金材料。具体内容包括：抗腐蚀、耐磨损的高性能特种硬质合金材料设计开发；高纯、窄粒度分布超细晶碳化钨制备技术；高性能特种硬质合金材料高致密度成型技术；高性能特种硬质合金材料合金化微观组织结构调控技术；高性能特种硬质合金材料高精度机械加工技术；高性能特种硬质合金材料性能评价与质量控制。

**考核指标：**开发出核工业用高性能特种硬质合金材料，满足核电站及其他核设施中的核一级泵的密封要求，材料主要技术指标为：抗压强度： $\geq 5000\text{MPa}$ ；抗弯强度 $\geq 2750\text{MPa}$ ；硬度： $\geq 1750\text{HV3}$ ；平均晶粒度： $\leq 1.0\mu\text{m}$ ；显微组织孔隙率：A02B00C00；加工精度：尺寸精度 $\leq 0.01\text{mm}$ ，圆度 $\leq 0.005\text{mm}$ ，粗糙度： $\leq \text{Ra}0.05\mu\text{m}$ ；配对浸泡腐蚀试验不低于240h。在核一级泵上实现应用。

### 26.4 3D 打印用高温合金高效制备技术

**研究内容：**针对高温合金材料成分复杂化带来的3D打

印成形难题，研究高通量制备与表征技术以采集成分、组织和力学性能基础数据；开展结合机器学习的成分与可打印性、组织、关键力学性能模型和增材制造用高温合金数据库研究；研究多目标优化算法，加速增材制造高温合金成分、工艺优化；研究高纯净母合金、高品质粉末制备、构件级产品增材制造及后处理全流程生产技术。

**考核指标：**建立增材制造镍基高温合金数据库，包含具有合金成分、组织、性能的数字化信息不少于 5 万组；利用机器学习方法和镍基高温合金数据库，结合预测模型，快速开发出 2 种具有自主知识产权的适用于增材制造的高强性高温合金；制备的新型高温合金构件，其力学性能在室温条件达到抗拉强度 $\geq 1500\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 1100\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 12\%$ ， $800^\circ\text{C}$  高温条件下抗拉强度 $\geq 800\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 750\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 8\%$ ； $700^\circ\text{C}/690\text{MPa}$  高温蠕变寿命 $\geq 50\text{h}$ 。

## 26.5 超高温金属基复合材料和部件规模产业化关键技术

**研究内容：**针对现有已开发材料部件工程化低成本高可靠性制造的技术难题，新一代武器装备和航空发动机对超高温难熔金属基复合材料的超大规格尺寸的要求，以及未来飞行器、航空发动机和武器装备向超远程、耐更高温度（ $3000^\circ\text{C}\sim 3500^\circ\text{C}$ ）、更长时间、更复杂结构、更低密度的要求；研究材料和部件低成本批量化制备技术，研究大规格材料和部件的制造技术；研究耐  $3500^\circ\text{C}$  空气环境材料和轻量化高强韧自保护材料制备技术。

**考核指标：**突破材料和部件的低成本批量制造问题，产品具备快速转化能力，优化工艺技术和装备，提高质量稳定性控制与生产效率，实现年产 30000 件以上；开发出轻质、耐高温、大尺寸板材及航空发动机高温部件，产品指标达到：材料密度 $\leq 6.0\text{g/cm}^3$ ，长度 300~500mm，厚度 $\leq 2\text{mm}$ ，室温拉伸强度 $\geq 800\text{MPa}$ ， $1000^\circ\text{C}$ 强度 $\geq 250\text{MPa}$ ，可在 $1000\sim 1500^\circ\text{C}$ 空气环境中稳定工作 30~50h，针对新型发动机的发展，开发 600~1000mm 级大尺寸高性能高温部件，产品指标达到，材料密度 $\leq 9.0\text{g/cm}^3$ ， $1600^\circ\text{C}$ 拉伸强度达到 200~250MPa， $1800^\circ\text{C}$ 拉伸强度达到 150~180MPa。

## 26.6 新型高强塑积钢复合材料研制关键技术攻关

**研究内容：**研究 Q&P 工艺中贝氏体、 $\alpha/\gamma$  相界、位错等缺陷的形成机制及其对碳配分热力学和动力学的影响规律；研究其氢脆机理、碳配分与碳化物析出机制及提高氢脆性能的工艺方法；研究其塑性变形机制及晶界相变强化机理，提出超高强塑积 Q&P 钢制造新原理与新技术。

**考核指标：**突破 Q&P 钢元素配分调控技术、晶界相变强化技术、氢脆控制、塑性变形控制等关键技术，形成具有超高强塑积的 Q&P 钢产品，核心技术指标达到全球领先水平，具体指标参数：强塑积 $\geq 25\text{GPa}\%$ ，其中  $R_m \geq 1500\text{MPa}$ 。

## 27.大尺寸复杂形状型材加工技术

### 27.1 铝合金连续铸造-连续剪切挤压技术及应用

**研究内容：**针对大尺寸挤压铝材工艺的长度与性能均匀性问题，研究铝合金连续铸造-连续剪切挤压制备关键技术；

研究汽车和飞机用高性能铝合金锻造材料、连接材料和变质材料的研发制备工艺；开展大尺寸复杂形状铝型材在典型零部件中的应用示范。

**考核指标：**采用连续铸造-连续剪切挤压技术研制出大尺寸高品质高强度大卷重铝合金工艺，单卷重量 $\geq 1000\text{kg}$ ；采用连续铸造-连续剪切挤压技术开发汽车和飞机等高端装备轻量化零部件用高性能铝合金锻造材料、连接材料和变质材料系列产品，铝合金型号包括 2024、2026、2519、2139、6013、7075、7050、7085、7055 等铝合金棒材、型材和板材；实现年产 2 万吨高性能铝合金锻造材料、连接材料和变质材料。

## 27.2 新型高延性冷轧带肋钢筋深加工技术

**研究内容：**基于多道次主被动轧机轧制技术，研究开发新型高延性冷轧带肋钢筋的高速冷轧工艺、大功率高效退火热处理工艺、低温吐丝与集卷工艺，并研制高精度螺纹在线检测等专用设备。

**考核指标：**建设一条高延性冷轧带肋钢筋智能化生产线，连续轧制速度 $\geq 1000\text{m/min}$  高速稳定上料。产品成材率达 99%以上，吨钢热处理电耗 $\leq 90\text{kWh}$ 。实现低于  $550^\circ\text{C}$  冷轧低温吐丝；低温集卷技术实现低于  $200^\circ\text{C}$  冷轧低温集卷整形吐丝。

## 28. 高性能合金工具及构件

### 28.1 高强钛合金连续焊管制备技术

**研究内容：**针对高强钛合金焊管室温难成形、焊缝性能

弱、焊管应力高的技术难题，研究钛合金温热成形、激光焊接、热处理机理，揭示热-力耦合条件下成形机制、连续激光焊接形性调控机制、低应力热处理本质机制科学问题；研究高效换热管轧制设备设计控制方案、轧辊辊型设计和热处理工艺优化技术；研究高强钛合金低应力激光高速焊接技术和热处理技术。

**考核指标：**形成钛合金连续焊管产品，核心技术指标达到国内领先水平，具体指标参数：焊管外径公差 $\pm 0.1\text{mm}$ ，焊缝宽度小于钨极氩弧焊接焊缝的 50%，抗拉强度  $R_m \geq 620\text{MPa}$ ，屈服强度  $R_{p0.2} \geq 483\text{MPa}$ ，断后延伸率  $A_{50} \geq 15\%$ 。

## **28.2 航空航天复合材料用硬质合金刀具制备技术**

**研究内容：**面向航空航天高强度复合材料高效加工的需求，开展基于热丝化学气相沉积工艺的整体硬质合金刀具高硬度纳米金刚石涂层的沉积条件和形成机理研究；研究高膜基结合强度金刚石涂层硬质合金制备技术；研究微米、纳米晶金刚石涂层颗粒复合和层状复合技术；开展金刚石涂层组织结构、力学性能和切削性能的映射关系研究；开展复合材料切削特性和刀具失效机理研究；突破复杂刀具结构设计技术，开发复合材料专用铣削和孔加工高效长寿命刀具。

**考核指标：**硬质合金刀具纳米金刚石涂层平均晶粒度小于  $70\text{nm}$ ，硬度大于  $90\text{GPa}$ ；金刚石涂层具有微米、纳米多层或颗粒复合结构，厚度大于  $15\mu\text{m}$ ；开发出纤维增强复合材料专用金刚石涂层硬质合金立铣刀和钻头各至少 2 种；粗

铣加工纤维增强复合材料线速度达到 120m/min, 粗铣刀寿命达到 60m, 精铣加工纤维增强复合材料线速度达到 150m/min, 精铣刀寿命达到 100m; 钻头线速度达到 80m/min, 内部最大分层直径不超过孔径 5%, 加工寿命达到 20m。

## 九、工程机械专题

### 29. 关键零部件

#### 29.1 工程机械零部件轻量化结构设计及制造关键技术研究及应用

**研究内容：**研究混合结构整体-连接局部的刚度、强度、稳定性、疲劳强度的精准计算方法。研究混合结构增材式、无压自密实一体成型方法，开发低损伤、高精度制孔和开槽工艺。建立从材料-局部结构-整体结构-臂架总成的试验方法，研制成套测试与验证试验平台。针对典型损伤形式，开发专用修复技术，建立修复后臂架性能的评价方法。研制多关节连接的折叠式箱型臂架、抗接触挤压的伸缩式箱型臂架两大类型臂架，建设与之匹配的混合结构臂架示范生产线。研制轻质、大臂长自重比的碳纤维臂架泵车、高空作业装备和消防车。

**考核指标：**开发一款以上碳纤维复合材料臂架，实现在碳纤维臂架工程机械，覆盖泵车、高空作业装备和消防车等多款装备的应用；在整机满足道路法规的前提下，作业高度>70 米；建设 1 条臂架示范生产线，最大臂架长度 $\geq 14$  米及以上；建立 1 套以上结构设计模型，制定 1 个以上验证方法标准。

## **30. 智能化工程机械**

### **30.1 工程机械多模态人机协同作业系统关键技术**

**研究内容：**研究语音、手势、指引、躯体语义等多模态交互方式与智能作业的融合技术；研究基于复杂施工作业场景的三维环境辨识技术、多刚柔耦合机构高效动力学状态估计技术、自适应精准控制技术；构建智能作业与交互关键技术体系。

**考核指标：**障碍物检测准确率达到 95% 以上，建图范围  $\geq 100$  米  $\times$  100 米作业区域，建图精度  $\leq 10$ cm。自动作业控制精度  $\leq 20$ cm。语音识别率  $> 95\%$ ，指令集  $> 100$  条；指引近场交互距离  $\leq 5$ m，定位精度  $< 0.1$ m；手语识别准确率  $> 90\%$ ；近场仿生操控联动延迟小于 300 毫秒；构建 1 套智能作业关键指标体系。

### **30.2 基于大数据技术的凿岩钻机自动作业系统**

**研究内容：**研究基于大数据的岩层识别算法；研究面向凿岩钻机的无人化自主钻孔技术；建设基于 5G 的智能凿岩钻机工业互联网平台，开发机群协同系统。

**考核指标：**障碍物识别尺寸直径不大于 20cm，典型作业工况岩层识别准确率高于 85%，支持至少 3 台设备 5G 遥控应急接管，遥控动作平均延时不高于 180ms。

### **30.3 装载机无人化网联化关键技术**

**研究内容：**基于搅拌站场景的装载机无人作业技术需求，研究作业场景中典型目标识别、三维场景重建、三维语义分割技术；研究基于专家系统决策的装料/卸料作业任务规划、

数据驱动的循迹路径规划、自动避障的行驶路径规划、最优化算法实现的满斗装料/卸料的轨迹规划；研究基于模型预测的运动控制技术、基于数据驱动的建模技术、PSO 的动力学参数辨识技术、朴素贝叶斯推断的液压系统参数辨识技术；开发搅拌站与装载机协同作业的智能调度系统，搭建装载机、搅拌站数据交互的智能网关、5G 网络、运维平台。

**考核指标：**无人化铲装单循环作业时间 $\leq 57$  秒/次；铲装物料满斗率 $\geq 90\%$ （人工）；搅拌站实际产能上料供给效率 $\geq 90\%$ ；铲斗卸料左右安全距离 $\geq 50\text{mm}$ ；典型目标识别率 $\geq 98\%$ （30m 范围内）；通讯距离 $\geq 120$  米、速率 1Mbps、延迟 $< 300$  毫秒；数据交互准确率 $\geq 98\%$ ；申请发明专利不少于 5 项，制定行业标准不少于 1 项。

### 31. 产业共性关键技术

#### 31.1 塔式起重机结构疲劳寿命评价关键技术

**研究内容：**针对塔机结构服役寿命低、难评价问题，研究基于统计学深度挖掘的塔机服役载荷大数据载荷谱；研究融合米勒准则的疲劳损伤理论、焊接疲劳特性匹配技术、等损伤加速疲劳技术，建立塔机寿命评价方法。

**考核指标：**形成一套塔机结构疲劳寿命评价方法模型，建立大、中、小型塔机作业载荷谱基础数据库；焊接结构疲劳试验数据 S-N 曲线 9 条。塔机全系列产品满足 30 年当量设计寿命，2 款样机疲劳寿命次数满足额载 3.2 万次循环。形成 8 项疲劳评价标准。

## 十、轨道交通专题



## **32. 关键零部件及核心系统**

### **32.1 轨道交通装备用高压电缆总成关键技术**

**研究内容：**研究基于电场强度控制与高压电缆总成结构设计、多界面配合设计；研究橡胶绝缘高压线束结构与电场强度匹配优化、不同线束之间抗干扰技术；研究力场、温度场及电场等多场仿真计算技术；研究不同介电常数高性能橡胶材料配方及界面粘合技术、高绝缘环氧树脂材料配方及低缺陷成型技术；研究高压电缆总成组装控制工艺及试验验证方法。

**考核指标：**高压电缆总成产品局部放电 $<5\text{pC}$ （48kV）；雷电冲击耐受电压 250kV，要求不击穿；工频耐受电压 124kV（5min）；高性能绝缘橡胶工频击穿介电强度 $\geq 25\text{kV/mm}$ 。产品通过装车运行考核。

### **32.2 轨道交通装备高效低噪数字化热管理系统关键技术**

**研究内容：**针对轨道交通装备热管理系统牵引能效提升、噪声控制、健康监控与管理等需求，研究轨道交通装备热管理系统优化设计、减振降噪、高效可靠散热、轻量化长寿命、在线监测和健康管理及远程监控技术；研究产品系列化和工艺标准化；研发试验环境系统；研制高速、中速、低速散热样机。

**考核指标：**轻量化叶轮工程样机 1 套，减重 $\geq 20\%$ ，拉伸强度 $\geq 85\text{MPa}$ ，弯曲强度 $\geq 160\text{MPa}$ ，缺口冲击功 $\geq 100\text{kJ/m}^2$ ，疲劳寿命 $\geq 12$  万次。高效可靠散热的轨道交通装

备冷却系统 1 套，典型工况冷却效率提升 10%，典型工况噪声降低 3dB。散热器、冷却塔和通风的系统试验环境系统 1 套，可实现加热功率最高可达 900kW，空气吸热量与系统散热量偏差率 $\leq 5\%$ ，温度通道 $\geq 36$ ，精度 0.1℃，压力通道 $\geq 6$ ，测量范围 0~2.5MPa，精度等级 0.5 级，完成冷却系统验证。高效可靠散热样机 1 套，减重 $\geq 30\%$ ，寿命提高 1 倍，LCC 降低 20%。

### 32.3 轨道交通专用高效电机及牵引变压器关键技术

**研究内容：**面向更高能效电机变压需求，研究高等级绝缘新材料及工程化技术，开发轨道交通高性能专用电磁扁线新型绝缘电工材料，研发牵引电机轴承关键技术。形成高效电机及牵引变压器工程化应用技术。

**考核指标：**满足耐热等级 $\geq 200^\circ\text{C}$ 、拉伸强度 $\geq 2.8\text{N/mm}$ 、电气强度 $\geq 15\text{kV/mm}$  的高性能芳纶纸 1 套；适用于牵引电机的 NU214 和 6311 自主化绝缘轴承 1 套；满足耐热等级 $\geq 200^\circ\text{C}$ 、Cu+Ag 含量大于 99.97%、O 含量小于 0.001%、电阻率（20℃时）小于  $0.01707\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 、击穿电压大于 7kV、屈服强度小于等于  $120\text{N/mm}^2$ 、拉伸率大于 38%的轨道交通高性能专用电磁扁线 1 套。高性能牵引电机 SI 工作制下功率密度 $\geq 1.1\text{kW/kg}$ ，最高效率 $\geq 97.5\%$ ；自主化均匀高温绝缘轻量化牵引变压器效率大于 96.5%，功率密度大于  $1.24\text{kVA/kg}$ 。

### 32.4 轨道车辆智能运维关键技术

**研究内容：**针对传统城市轨道交通关键设备运维效率较

低、存在过度修以及欠修问题，基于国产基础软硬件平台，构建集运营管理、检修管理、设备管理等功能为一体的车辆智能运维系统。重点研究公网 5G 和专网 5G 在车载无线传输系统上的集成应用技术；研究无线无源传感技术；研究基于多感知数据融合、深度学习自动识别、时空同步联动分析的全天候在线检测弓网关系及轮轨关系实时在线监测技术；研究基于多传感融合、散热、电容/电抗参数辨识模型的列车关键子系统（牵引、辅助）及其部件智能诊断预警预测与状态评估技术；研究基于机器视觉采集、神经网络智能分析的 360 图像检测、车底巡检机器人智能列检技术。

**考核指标：**形成一套基于国产基础软硬件平台的高运营检修效率的城轨车辆智能运维系统，车地数据传输准确率 $\geq 99\%$ ；列车牵引辅助系统等关键部件常见故障的监测、智能诊断和预警功能，预测准确率不低于 80%；弓网检测技术指标达到接触网导高刚性悬挂检测精度 $\pm 10\text{mm}$ 、柔性悬挂检测精度 $\pm 20\text{mm}$ ；智能列检系统关键部件缺失、螺栓松动检出率 $\geq 90\%$ （检出缺陷数/故障总数 $\times 100\%$ ，松动量 $> 3\text{mm}$ ）；项点误报率 $\leq 1\%$ （误报数/识别项点总数 $\times 100\%$ ）；巡检机器人指标达到巡检机器人最大运行速度 $\geq 1.2\text{m/s}$ ，爬坡角度 $\geq 13^\circ$ ，转向半径 $\leq 1000\text{mm}$ ，具备跨越 80mm 宽 $\times$ 200mm 长凹坑能力，续航时间不低于 5h，具备 GNSS 定位、视觉定位、激光定位、磁定位、融合导航中的至少 2 种定位方式，自身定位误差 $\leq 5\text{cm}$ ，轨迹跟踪误差 $\leq 10\text{cm}$ 。

## 32.5 磁浮快线列车自主协同运行控制关键技术

**研究内容：**针对磁浮列车运行控制系统自动化水平进一步提升的需求，研究列车运行控制、融合控制、车载融合测试定位、分散自律运行控制、新型轨旁设备控制、列车安全数据贯通校验等技术；研究临时限速、设备故障，信号突变等非确定场景下车内协同联动、车地协同互动、车车追踪协同运动及车与环境协同智动的互联互通机制及云平台；研究磁浮列车运行控制系统标准体系。

**考核指标：**开发自主融合的磁浮列车运行控制系统 1 套，其安全完整性等级 SIL4、自动化水平达 GoA4 级、最高控车速度 160km/h、最大紧急制动距离 500 米、车地最大通信时延 100ms、车车最大通信时延 50ms、端端传输丢包率 $\leq 0.5\%$ 、系统休眠唤醒成功率 $\geq 99.5\%$ ，最小发车间隔 300 秒（在非确定场景，最短发车间隔 $\leq 2$  分钟）；研制多维故障预警及安全导向自愈装置，形成非确定场景下基于微云平台的列车四级自主协同运行控制体系，运控故障预警响应速度 $\leq 1$  毫秒，运控系统自愈速度 $\leq 10$  毫秒，列车起制动过程运行冲击降低 10%，运行千米能耗降低 2%；形成标准体系框架 1 份，新制订企业或团体标准草案 5 项以上。

## 十一、高性能制造技术与重大装备专题

### 33. 智能机器人

#### 33.1 高端生物医药智能无菌预充针机器人成套装备关键技术

**研究内容：**针对高端生物医药制造日渐严格的无菌化、

自动化柔性生产等需求，研究高端生物医药预充针的全自动灌封、转运、检测、密封等关键技术。突破超洁净环境下机器人高精度撕膜、称重、充氮、灌装和加塞的轨迹规划与灵巧作业技术；研究高速运动场景下多模态精准成像与微弱异物高效检测分析方法，构建面向多类型高端生物医药机器人检测平台；研制预充针泡罩成型、热封、冲裁、装盒一体化机器人作业工作站与智能机器人灭菌物流系统；实现智能无菌预充针机器人自动化成套技术装备开发与应用验证。

**考核指标：**智能无菌预充针机器人自动化成套技术装备，支持国产操作系统自主柔性灌封机器人轨迹规划偏差 $\leq 0.2\text{mm}$ ，医药检测机器人的异物检测精度 $\leq 30\mu\text{m}$ ，异物检测识别种类不少于5类，单瓶检测时间小于0.1s，医药成品合格率高于98.00%；预充针机器人生产线生产速度不低于300瓶/min，实现3种以上类型医药制剂的自动化生产，在典型企业开展不少于5条生产线的示范应用，每条生产线不少于3台国产机器人应用。

### 33.2 重载搬运智能天车机器人关键技术

**研究内容：**针对强磁场、高粉尘、高温等冶炼极端环境的重型物料搬运人工操作复杂、效率低、可靠性低等难题，研究大型搬运天车机器人智能化高效作业关键技术，研究该天车机器人不稳定、非线性强磁等干扰因素下的信号传输机理与抑制方法；研究智能天车机器人广域环境高精度感知与定位技术；研究多类高维任务与受限空间下智能天车机器人操作规划、力柔顺控制与主动安全技术；智能天车机器人作

业过程在线可视化多任务管理、监测、诊断技术；高承载低惯量仿生执行终端设计；实现智能天车机器人系统集成与示范应用。

**考核指标：**研制面向极端环境的重型搬运天车机器人系统 1 套；适用于电流强度 $\geq 300\text{kA}$ ，磁场强度 $\geq 600\text{GS}$ ；核心工艺作业时间 $\leq 30\text{min}$ ；综合感知精度 $\leq \pm 3\text{mm}$ ；主体移动最大运行速度 $\geq 60\text{m/min}$ ，位置误差 $\leq \pm 10\text{mm}$ ；执行搬运机构最大运行速度 $\geq 30\text{m/min}$ ，位置误差 $\leq \pm 5\text{mm}$ ；最大载荷 $\geq 25\text{t}$ ；绝缘故障检测准确率 100%，具有工艺参数监测与工位运动控制、参数调整、数据存储等功能；天车机器人主体与执行机构运动自由度不少于 10 个，至少在 1 个重载搬运智能天车机器人应用示范。

## **34. 工业母机**

### **34.1 七轴五联动磨齿机关键技术**

**研究内容：**针对传统的小模数齿轮生产技术落后、齿面啮合质量难以控制、精度不高、使用寿命短等问题，研究高动态性能、高动静刚度、结构小巧紧凑的机床结构系统；研究高精密、高响应速度、低功耗的直驱工件轴和 1800rpm 的高速砂轮主轴技术；研究具有高刚性低运行速度特性的直驱高精度转台；研究机床热平衡设计和齿轮磨齿工艺，提升机床可靠性。

**考核指标：**研制全数控七轴五联动磨齿机，加工精度指标：磨齿精度达到 DIN3965 锥齿轮和准双曲面齿轮精度标准规定的 3 级精度，齿面粗糙度不低于 Ra0.4。加工效率指标：

MTBF > 800 小时，X 轴最大速度 20m/min；Y 轴最大速度 20m/min；Z 轴最大速度 15m/min；A 轴最大速度 30rpm；B 轴最大速度 4rpm；C 轴最大速度 8000rpm；X、Y、Z 加速度  $1.5\text{m/s}^2$ ；A、B、C 加速度  $10\text{r/s}^2$ ；自动余量分配伸出/缩回时间 2s；自动开关门时间 5s。申请 2 项以上发明专利。

## **35. 半导体设备**

### **35.1 磁控化学机械抛光关键技术**

**研究内容：**建立磁控化学机械抛光(CMP)工艺数字孪生体及智能控制的数学理论，利用 PLC 控制系统自主研发获得一套智能控制软件。研究密封圈沟槽设计磁控抛光头与磁性抛光液匹配性，研制磁控密封圈沟槽化学机械抛光机。研究镜面抛光机的压力测试与反馈技术，利用 PLC 控制系统对磁性抛光液进行控制，获得压差较小的压力场，研制出晶圆表面磁控 CMP 实验机。

**考核指标：**化学机械抛光机和晶圆表面磁控 CMP 机各 1 套；工件加工平度  $0.02\mu\text{m}$ ；磁性研磨液粒度  $0.02\mu\text{m}$ ；样机加工压力差小于 10%；申请 2 项以上发明专利。

### **35.2 碳化硅基片高效精密加工及其成套技术设备关键技术**

**研究内容：**针对半导体单晶硅基片及碳化硅基片材料对加工工艺和加工设备的需求，研究高效精密磨削机理、高效精密磨削/研磨/抛光成套加工工艺，研究加工设备刚度与精度设计及制造方法，研发高效精密成套加工设备关键技术、研制出碳化硅材料的成套加工设备(磨床、研磨机、抛光机)。

**考核指标：**开发出碳化硅材料精密磨削、研磨抛光成套工艺；开发出成套精密数控机床三种，即：数控精密磨床一台、数控精密研磨机一台、数控精密抛光机一台；磨削主轴精度  $0.5\mu\text{m}$ ，工件主轴精度  $0.5\mu\text{m}$ ，Z 轴定位精度  $1\mu\text{m}$ 、重复定位精度  $0.5\mu\text{m}$ ，磨削主轴与工件主轴的位置精度两轴线平行度  $5\mu\text{m}$ 、两端面平行度  $3\mu\text{m}$ ，抛光盘尺寸  $\Phi 1070 \times \Phi 495$ ，抛光压力准确度  $\pm 20\text{N}$ ，抛光盘平面度  $0.02\text{mm}$ ，抛光产品 TTV $0.004\text{mm}$ （8 英寸）。

### 35.3 大尺寸第三代半导体晶圆超精密减薄关键技术

**研究内容：**针对大尺寸第三代半导体晶圆超精密减薄磨削过程中效率低、精度差、损伤大的问题，研究大尺寸晶圆减薄磨削装备整体设计与集成技术；研究低速进给的高可靠性、高刚性磨削系统机构，包括自主研制的高精度转台、主轴；研究高精度智能闭环伺服控制技术；研究高可靠性、高精确定性的超薄晶圆传输系统；研究磨削力、厚度精密在线测量与控制技术；研发第三代半导体晶圆高质量、高精度减薄磨削工艺技术及自主工艺控制软件。

**考核指标：**研制带机械手的大尺寸第三代半导体晶圆超精密减薄磨削装备，具有机械手，可加工材料 SiC、GaN；最大加工直径  $300\text{mm}$ ；砂轮主轴数 2 个；总厚度变化 TTV  $< 2\mu\text{m}$ ，平整度 GBIR  $< 2\mu\text{m}$ ；表面粗糙度  $R_a < 10\text{nm}$ ；申请发明专利  $\geq 6$  项、软件著作权  $\geq 2$  项。

### 35.4 大功率半导体氮化硅基板烧结装备关键技术

**研究内容：**针对大功率半导体对高导热、高可靠性的氮



化硅基板的批量制造难题，研制氮化硅基板关键烧结装备，研究温场均匀性关键技术、发热体耐久性关键技术、烧结压力精准控制技术、安全可靠的数字化控制技术、低能耗快速升温及快速冷却关键技术等。

**考核指标：**研制氮化硅基板关键烧结装备 1 套，装料空间（卧式装炉方式）W/H/L~650/650/1800mm，承载总重量 1000Kg，最高温度 2300℃，烧结压力+0.01MPa~+9.8MPa，冷却速率（2000℃~200℃）≤30min，升温速率≥15℃/min，温度均匀性≤±4℃，可以满足批量优质氮化硅陶瓷基板的要求。申请专利≥5 项，其中发明专利不少于 2 项；软件著作权不少于 2 项。

## **36. 深海装备**

### **36.1 深海工程地质综合取芯与原位探测系统开发技术**

**研究内容：**针对深海油气井场、海上风电场、海底军用/民用工程设施的工程地质勘察等需求，突破大岩芯直径绳索取芯钻具、高品质低扰动工程地质取芯工艺、海底多功能原位探测系统、高质量无线声学实时数据传输、重载装备母船安全搭载与收放等关键技术，研发一套适用于深海、大岩芯直径，具备孔内 CPT 和十字板剪切功能的深海工程地质综合取芯与原位探测系统，完成海上试验验证与应用示范。

**考核指标：**最大作业水深≥3000m；海底钻进深度≥120m；岩芯直径≥72mm；取芯率≥75%；锥尖阻力：0~50MPa；

侧壁摩擦力：0~1MPa；孔隙水压力：0~3.5MPa；十字板额定扭矩≥100Nm；十字板转速范围：6°~240°/min；无线

声学传输距离 $\geq 120\text{m}$ ；无线声学传输波特率 $\geq 9600\text{bps}$ ；探头具备深度补偿功能。

## **十二、航天与北斗导航专题**

### **37. 北斗芯片设计与制备**

#### **37.1 高精度导航基带射频一体化芯片**

**研究内容：**针对北斗用户端设备基带与射频微波组件分立而带来的体积大和功耗高的问题，研究 22nm 工艺技术下的高性能综合导航芯片设计方法，研究单芯片下的大规模全系统全频点通道复用设计/多译码器设计/通信导航一体化信号处理设计的集成设计技术，研制多场景下高灵敏度/高精度/高动态一体化导航与通信专用射频一体化芯片。

**考核指标：**研制 1 种高精度导航基带射频一体化芯片样片；捕获灵敏度 $\leq -140\text{dBm}$ ，跟踪灵敏度 $\leq -155\text{dBm}$ ，冷启动时间 $\leq 90\text{s}$ ，热启动时间 $\leq 10\text{s}$ ，失锁重捕时间 $\leq 3\text{s}$ ，定位精度水平精度 $\leq 5\text{m}$ ，垂直精度 $\leq 5\text{m}$ ，测速精度 $\leq 0.25\text{m/s}$ ，授时精度 $\leq 20\text{ns}$ ，峰值功耗 $\leq 600\text{mw}$ ，平均功耗 $\leq 400\text{mw}$ 。

### **38. 北斗终端设备研制**

#### **38.1 基于北斗的蓝宝石频率合成器研制**

**研究内容：**针对北斗时间基准装置相位噪声较大且环境适应性较差的问题，研究小型蓝宝石谐振器设计方法，研究提高谐振器 Q 值的方法，研究超低相噪信号产生方法，研究提高频率合成器温度循环和随机振动等环境适应性的方法，研究在雷达等领域的应用模式，研制北斗频率合成器装置。

**考核指标：**研制 1 种基于北斗的蓝宝石频率合成器样机；

北斗授时精度 $<10\text{ns}$ ，10G 输出相位噪声 $<-127\text{dBc}@1\text{KHz}$ 、 $<-147\text{dBc}@10\text{KHz}$ 、 $<-150\text{dBc}@100\text{KHz}$ 。

### 38.2 可穿戴式北斗终端设备关键技术

**研究内容：**针对手持式北斗终端设备因体积和重量较大而影响人员行动灵活性的问题，研究北斗天线和专用电子模块等穿戴设备的共形方法，研究北斗天线与组件的小型化技术，研究提高可穿戴北斗系统隐蔽性的方法，研制可穿戴式北斗终端设备。

**考核指标：**研制 1 种可穿戴式北斗终端设备样机；能实现北斗全频段覆盖，在北斗 B1、B2、B3 三个频点处的驻波比 $\leq 1.5$ ，三个频点的轴比 $\leq 2\text{dB}$ ，方位角  $360^\circ$ /俯仰角  $180^\circ$  波束全向覆盖，不圆度 $\leq 1.5\text{dB}$ ，最低增益 $\geq 1\text{dBi}$ ，交叉极化 $\leq 15\text{dB}$ ，对人体组织的比吸收率(SAR) $\leq 1.6\text{W/kg}$ ；重量 $\leq 400\text{g}$ ，功耗 $\leq 1\text{W}$ 。

### 38.3 北斗姿态处理器研制

**研究内容：**针对车体形变条件下导航定位易出现偏差的问题，研究北斗/光学组合方位传递技术，研究北斗精密定向方法，研究多路径抑制高精度测量技术，研究天线电气相位中心偏差标定方法，研究北斗高精度快速定向技术试验验证方法，研制北斗姿态处理器。

**考核指标：**研制 1 种北斗姿态处理器样机；满足载车导航、定位定向定姿时设备需求的精度指标,北斗姿态处理器定位精度 $\leq 10\text{m}$  ( $1\sigma$ )，寻北精度 $\leq 0.12^\circ$  ( $1\sigma$ )，俯仰角测量精度 $\leq 0.2^\circ$  ( $1\sigma$ )，横滚角度测量精度 $\leq 0.4^\circ$  ( $1\sigma$ )，寻

北时间 $\leq 5\text{min}$ ，功耗 $\leq 28\text{W}$ 。

### 38.4 北斗三代手持设备关键技术

**研究内容：**针对北斗系统终端设备技术指标不满足日益增长的高精度快速可靠导航定位需求的问题，研究北斗三代导航芯片设计方法，研究北斗信号的高灵敏度捕获技术，研究北斗系统抗欺骗干扰技术，研究天线小型化技术，研究北斗终端的低温续航技术，研制北斗三代手持终端整机。

**考核指标：**研制 1 种北斗三代手持终端样机；定位精度（水平）6m，定位精度（高程）8m，定时精度优于 20ns，测速精度优于 0.2m/s，RN 接收灵敏度（捕获）优于-140dBm，RN 接收灵敏度（跟踪）优于-150dBm，首次定位时间（冷启动） $\leq 50\text{s}$ ，首次定位时间（热启动） $\leq 10\text{s}$ ，抗干扰-抗窄带干信比 83dB，低温续航时间 $>7$  小时。

## 39. 北斗系统建设与运控

### 39.1 基于调频广播的北斗高精度定位服务系统关键技术

**研究内容：**研究调频广播与北斗导航融合应用方法与技术，研制调频广播差分接收终端，研发支持接收调频差分信号的北斗三号软硬件，研发支持调频广播的北斗定位云端算法和服务平台，制订适用于调频广播播发方式的 GNSS 差分数据协议。

**考核指标：**移动通信盲区实时动态差分定位精度指标：平面 $\leq \pm 5\text{cm}$ ，高程 $\leq \pm 10\text{cm}$ ；时空可用性： $\geq 95\%$ ；区域通信单次报文长度： $\geq 15000\text{bits}$ 。

## 40. 北斗卫星导航定位系统应用

### 40.1 基于北斗和微惯导的应急抢险搜救定位系统

**研究内容：**针对应急救援领域北斗卫星信号室内覆盖不足而导致室内外导航定位不连续的问题，研究卫星导航与微惯导融合技术，研究微惯导高精度定位及标定技术，研究自组网通信技术，研制基于北斗和微惯导不依赖室内基础设施的室内外无缝衔接应急搜救定位系统。

**考核指标：**研制 1 套基于北斗和微惯导的室内外无缝衔接应急抢险搜救定位系统；室内定位精度 $\leq 0.3\%$ ，室内外高程精度优于 0.5 米，楼层准确率优于 99%，室外定位精度 $\leq 0.5\text{m}$ ，无线测距精度 $\leq 3\text{m}$ ，部署时间 $\leq 2\text{min}$ ，自组网单跳传输距离 $\geq 2\text{km}$ ，研制“北斗+微惯导”应急救援搜救可穿戴定位系统样机 1 套，在无室内定位基础设施的应急搜救场景开展示范应用。终端持续工作时间 $\geq 8\text{h}$ ，终端负载总重量 $\leq 500\text{g}$ 。

### 40.2 基于北斗和蓝牙通信的通导融合式导航定位系统

**研究内容：**针对北斗卫星无线电信号固有的室内覆盖不足而导致室内外导航定位不连续的问题，研究基于移动网络的北斗快速定位技术，研究基于蓝牙通信的高精度室内外定位方法，研究多源异构室内外高精度和高鲁棒性无缝定位方法，研制基于北斗+蓝牙的高精度室内外无缝导航定位系统。

**考核指标：**研制 1 套基于北斗和蓝牙通信的室内外无缝导航定位系统；室内外无缝定位精度 $\leq 0.5\text{m}(1\sigma)$ ，蓝牙 AOA 基站单站覆盖范围 10m，北斗+蓝牙无缝定位终端 $\leq 1\text{m}(1\sigma)$ ，

定位连续性优于 99%，在室内空间开展示范应用。

### **十三、航空载运装备专题**

#### **41. 航空载运装备总体与结构**

##### **41.1 电动型大型无人运输机总体设计**

**研究内容：**针对大型运输无人机能源动力不足、气动效率不高、航程航时不足等问题，面向大型垂直起降多旋翼/短距起降固定翼/垂直起降转平飞混合构型开展总体设计，研究全机功率因子和升阻比最优化的气动布局设计、分布式电动螺旋桨推进装置与机体一体化设计、起降/平飞宽工况螺旋桨推进系统设计及功率匹配、高升力/缓失速/高功率因子翼型及机翼设计等技术，形成电动型大型运输机总体设计方案。

**考核指标：**载荷质量 $\geq 500\text{kg}$ ；航时 $\geq 6\text{h}$ ；最大巡航飞行高度 $\geq 5\text{km}$ ；巡航飞行速度 $\geq 200\text{km/h}$ ；最大起飞重量 $\geq 1000\text{kg}$ ；储运空间 $\geq 0.8\times 0.8\times 4\text{m}^3$ ；形成 3 种以上电动型大型无人运输机总体设计方案，并具备可实施性；至少包括大型垂直起降多旋翼/短距起降固定翼/垂直起降转平飞混合构型中的 2 种，申请 3 项以上国家发明专利。

#### **42. 能源动力系统**

##### **42.1 航空发动机超薄扭曲叶片精密电解加工技术**

**研究内容：**针对航空发动机超薄扭曲叶片高精度、高质量、低成本的加工需求，研究基于振动进给的叶片精密电解加工关键技术。研究振动进给参数与大功率脉冲电解电源的精确匹配对加工精度和表面质量的影响规律、电参数对叶片复杂型面和前后缘精密加工影响的工艺规律、工具阴极数字

化设计及优化方法、电解液流场设计及仿真分析、叶片精密电解加工工艺稳定性评价方法等关键技术，形成超薄扭曲叶片精密电解加工完整工艺技术体系，显著提高加工质量和加工效率，大幅降低制造成本。

**考核指标：**建立大功率脉冲电源参数与振动进给参数匹配关系数据库；航空发动机叶片型面和前后缘一次精密电解加工成形，叶片型面精度 $\pm 0.04\text{mm}$ ，前后缘加工精度 $\pm 0.04\text{mm}$ ，叶片表面粗糙度 $R_a \leq 0.4\mu\text{m}$ ，且叶片表面无杂散腐蚀、流纹、晶间腐蚀和短路烧伤等表面缺陷；高温合金叶片加工周期相对于数控铣削缩短30%以上，制造成本降低30%以上；实现航空发动机电解加工的批量生产；申请3项国家发明专利。

## 42.2 智能无人机能源系统故障诊断及可靠性供电技术

**研究内容：**针对无人机能源系统故障诊断不及时的问题，研究无人运输机能源系统故障特性与传播机理，揭示无人运输机能源系统故障传播与耦合机理；研究无人运输机能源系统故障智能诊断技术，为故障应急处理与能源调度提供决策依据；研究无人运输机能源系统故障隔离方法，提出系统故障故障应急处理方案，设计无人运输机能源系统故障智能诊断系统。针对大型无人机新型能源系统架构，研究大扰动下系统母线电压暂态失稳机理与电压快速支撑技术，研究供电系统的级联稳定分析模型及稳定控制方法，提升大型无人机能源系统的供电可靠性；针对智能无人机多场景、多模态运行需求，研究智能无人机多能互补动态协同优化管理技术，

提升智能无人机供电系统的运行效率与可靠性。

**考核指标：**研制无人运输机能源系统故障智能诊断系统 1 套，故障诊断时间 $\leq 10\text{ms}$ ；识别故障类型不低于 10 种；故障诊断准确度 $\geq 90\%$ ；稳态时母线电压波动 $\leq 2\%$ ；暂态电压支撑响应时间 $\leq 20\text{ms}$ ；申请至少 3 项国家发明专利。

### 42.3 航空发动机特种密封装置研制

**研究内容：**针对国外对航空发动机金属封严环技术的封锁和垄断问题，研究新一代航空发动机及燃气轮机特种密封装置材料性能；研究特种密封装置结构设计和工艺制造；研究特种金属密封模拟工况试验平台；研究模拟发动机转速、压力、温度、封严介质、转子跳动等工况的石墨封严试验装置。

**考核指标：**石墨封严：转速大于 15000rpm，压差 0.05MPa 条件下，气体泄露量 $\leq 0.08\text{m}^3/\text{min}$ ，寿命 $\geq 1000\text{h}$ 。直径 250mm 以上金属封严环：泄漏量在常温、压差 2.5MPa 下，泄漏量 $\leq 0.20\text{m}^3/\text{h}$ ，回弹率 $\geq 90\%$ ，金属封严环寿命 $\geq 2000\text{h}$ 。直径 250mm 以下金属封严环：在常温、压差 0.69MPa 下，泄漏量 $\leq 0.08\text{m}^3/\text{h}$ ，回弹率 $\geq 95\%$ ，金属封严环寿命： $\geq 2000\text{h}$ 。研制一套工况的石墨封严试验装置，试验产品尺寸直径 450mm；试验温度范围 $-40^\circ\text{C} \sim 850^\circ\text{C}$ ；内外压差 4MPa；最大加载载荷 100kN。试验产品尺寸直径 220mm；最高转速：60000rpm；温度范围为 $-40^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$ ，压差 0~1.3MPa；泄漏量测试精度 $\pm 0.5\%\text{FS}$ ；申请至少 3 项国家发明专利。

### 43. 导航与控制系统



### 43.1 平流层浮空器设计及智能导航关键技术

**研究内容：**针对平流层浮空器存在的成本较高、环境保护能力不足、高空风场模型精度不高等问题，开展浮空器降低成本设计，研究筋膜结构设计与工艺研究，完成试验样机研制；基于现有多源全球中长期天气预报数据，获取大尺度范围的风场信息，通过原位数据订正及多源数据融合提高准实时风场预报精度，以区域驻留为复杂长期目标优化对象，研究基于强化学习的自主导航飞行控制方法。基于样机开展飞行试验，验证自主导航算法的有效性。

**考核指标：**囊体材料面密度： $\leq 60\text{g/m}^2$ ；构建湖南省高空风场环境数据集：数据集时间 $\geq 10$ 年；浮空器智能导航仿真系统：集成 D3QN 等深度强化学习算法，区域驻留时间 $\geq 24\text{h}$ ，区域驻留半径 $\leq 80\text{km}$ ；高空样机智能导航飞行时间 $\geq 24\text{h}$ 。

### 43.2 大型无人运输机飞行控制系统研制

**研究内容：**针对大型无人运输机安全高可靠飞行的需求，研究自主飞行控制系统的高精度航迹跟踪控制技术，研究多套自主飞行控制系统之间的互联互通以及数据同步技术，研究多套自主飞行控制系统之间的数据仲裁与决策技术。

**考核指标：**控制系统余度 $\geq 3$ ；航迹跟踪误差 $\leq 3\text{m}$ ；故障后仲裁切换时间 $\leq 1\text{s}$ ；多系统间数据同步时间延迟 $< 10\text{ms}$ ；可控最大飞行速度 $\geq 600\text{km/h}$ ；通过 500kg 以上无人机飞行演示验证，验证飞行速度 $\geq 200\text{km/h}$ ；在 1 套或者 2 套控制余度出现故障的情况下，仍然能给出合理的控制指令。

### 43.3 大型无人运输机组合导航系统研制

**研究内容：**针对大型无人运输机在无典型匹配特征条件下的惯导/视觉组合导航需求，研究无基准图条件下光学陀螺惯导和视觉融合的组合导航技术，研究无人运输机的视觉速度和姿态信息的提取技术，研究解决视觉测量信息不稳定条件下的惯导/视觉融合滤波发散问题。

**考核指标：**在无卫导辅助条件下，实现 4 小时内光学陀螺惯导和视觉组合导航，组合导航定位精度优于 1km (CEP50)，测速精度优于 1m/s ( $1\sigma$ )；实现姿态信息提取正确率大于 95%；通过速度大于 200km/h 的无人机飞行演示验证。

### 43.4 民用飞机机轮刹车系统关键零部件研制

**研究内容：**针对民用飞机机轮刹车系统关键零部件高性能精密近净成形制造需求，开展高强度、抗冲击、耐疲劳轮毂、缸坐、扭力筒等铝合金多相多级微结构设计、精密模锻工艺及模具制造、残余应力消减、表面强化（滚压、喷丸）及防护（阳极氧化）处理、复杂服役环境可靠性评估等关键技术研究。

**考核指标：**铝合金屈服强度  $R_{p0.2} > 450\text{MPa}$ ，疲劳强度  $\sigma_{\max} \geq 320\text{MPa}$ （寿命大于 10000 周）；机轮承载力  $\geq 3000\text{N/kg}$ ，寿命达到 10000 起落；铝合金轮毂结构尺寸及成形精度满足 C919 设计要求、形成残余应力消减技术、制定铝合金机轮可靠性验证评判标准。

### 43.5 国产大飞机起落架先进热处理技术及关键装备研制

**研究内容：**起落架大型复杂结构主承力件高可靠精密热处理技术及验证研究（变形控制、K<sub>IC</sub>性能控制、效果及性能评估等）；基于不同淬火介质的强化热处理研究；大型热处理设备温度场和气氛精准控制技术；智能化热处理装备系统集成技术及应用研究。

**考核指标：**A-100 钢断裂韧性 K<sub>IC</sub>:105~125MPa·m<sup>1/2</sup>、300M 钢 K<sub>IC</sub>: 55~80 MPa·m<sup>1/2</sup>；有效工作区：Φ2500×4000mm<sup>2</sup>，加热室极限真空度 0.013Pa，淬火室极限真空度 0.13Pa；工作区温度：500℃~1200℃，炉温均匀性±5℃；压升率≤0.5Pa/h；淬火转移时间≤30s；气体淬火介质压力 6~30bar；申请国家专利 5 项以上，制定行业技术标准 2 项以上，申请软件著作权 1 项以上。

## 44. 系统集成与应用

### 44.1 大型电动垂直起降复合翼航空器设计与集成

**研究内容：**针对大型电动垂直起降复合翼航空器总体气动较低、智能化飞行控制不足等问题，研究大型新能源载人航空器总体设计、气动结构设计、新能源管理、智能飞行控制、系统集成技术，研制满足城市级的运载与航程能力的航空器原理样机。研究新能源载人航空器安全性、可靠性设计技术与测试方法。

**考核指标：**最大起飞重量≥1500kg；最大航程≥100km；最大飞行速度≥150km/h；具备自主起降、自主航线飞行功

能；实现电能量智能化管理，具备低电量报警以及自主保护降落功能；全机结构强度满足飞行限制机动过载 $\geq 2g$ ，着陆过载 $\geq 3g$ ，且通过强度测试试验验证；完成样机研制以及试验飞行；申请专利 5 项。

## **十四、集成电路专题**

### **45. EDA 工具与设计软件**

#### **45.1 面向芯片安全的 EDA 工具研发**

**研究内容：**针对芯片在寄存器传输级代码开发或者第三方 IP 核中存在的设计缺陷以及恶意逻辑，从芯片安全漏洞特征提取、检测、定位三个方面，开展关键链路提取技术、硬件安全形式化验证技术、低活性节点定位技术研究，形成 RTL 级硬件安全漏洞检测与定位方法，开发相关 EDA 工具，与国产操作系统集成适配。

**考核指标：**提出 1 种芯片安全关键链路提取技术，关键链路分析深度 $\geq 500$  等效门/bit；形成 1 种 RTL 级芯片安全形式化验证技术，形式化建模支持规模 $>100000$  门；形成 1 种低活性节点定位技术，低活性节点提取覆盖率 $\geq 95\%$ ；最终形成 1 款芯片安全漏洞检测 EDA 工具，实现与国产操作系统集成适配。申请发明专利 3 项。

#### **45.2 面向国产 GPU 的开源编译器关键技术**

**研究内容：**针对优化国产 GPU 软件生态的需求，研究国产 GPU 的指令架构，指导编译器的开发；研究基于 Mesa 的开源编译器套件，实现从 Mesa 中间表示到自主设计中间指令到机器指令的全流程贯通；研究基于国产 GPU 平台的

适配和优化技术；研究编译器的评测方法，形成一套测试用例。

**考核指标：**开源编译器通过 opengl-cts、opengles-cts、piglit、vulkan-cts 等相关测试，性能不低于同平台国产 GPU 闭源编译器；形成发明专利 2 项及软件著作权 2 项；完成国产计算机平台下不少于 5 种等典型中间件的适配；完成形成一套编译器测试用例。

## 46. 先进半导体材料及装备研制

### 46.1 电子束直写曝光设备高精度传片系统

**研究内容：**针对电子束直写曝光设备传片系统存在的传片定位精度低、载片角度误差大、片盒控温精度低等难题，开展高精度传片机械手设计与制造、高稳定片库设计与制造、装卸片自动控制技术、高精度温度控制等关键技术研究，结合多物理量联合模拟优化，突破电子束直写设备高精度传片系统，支撑半导体关键装备电子束直写曝光设备的自主可控发展。

**考核指标：**研制出一种电子束直写曝光设备高精度传片系统。晶圆尺寸：8 英寸；片盒数量 $\geq 8$  片；基片架调整基片角度 $\leq \pm 0.5^\circ$ ；控温精度 $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。申请发明专利不少于 2 项。

### 46.2 IC 载板（芯片封装）干膜光刻胶研制

**研究内容：**针对  $15\mu\text{m}/15\mu\text{m}$  的干膜光刻胶自主可控和国产化需求、突破国际制约，研发新结构的碱溶性树脂，优化聚合物分子量及其分布特性；研究干膜胶体配方优化，研发

新结构的高效光引发剂，设计开发新型特种光固化单体；研究 PET 表面状况对干膜性能的影响，结合封装应用进行改性研发。

**考核指标：**研制出一种 IC 载板（芯片封装）干膜光刻胶。干膜解析精度达到  $15\mu\text{m}/15\mu\text{m}$ ；实现批量生产，涂布精度膜厚控制  $\pm 1\mu\text{m}$  以内，整体生产良率达到 95% 以上；申请发明专利不少于 2 项。

### 46.3 高热导氮化硅陶瓷基板制备关键技术的研究

**研究内容：**针对氮化铝陶瓷机械强度低、易潮解以及较高的制造成本等问题，研究高纯低氧含量氮化硅粉体制备技术；研究高热导率氮化硅基板配方技术；研究成型工艺、烧结工艺。

**考核指标：**制备出高热导氮化硅陶瓷基板样品。基板热导率  $\geq 90\text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$ ，抗弯强度  $> 700\text{MPa}$ ，断裂韧性  $\geq 7\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ，常温电阻率  $> 10^{14}\Omega\cdot\text{m}$ ，击穿电压  $> 20\text{KV}/\text{mm}$ 。申请发明专利不少于 2 项。

## 47. 高性能芯片设计与制造

### 47.1 面向人工智能的高效能异构多核 DSP 芯片

**研究内容：**针对当前 DSP 芯片国产化及国产 DSP 功能、性能提升需求，研究突破高算力可重构并行神经网络加速器微结构设计与实现技术、基于超长指令字技术的高性能 DSP 内核设计技术、高能效异构多核 CMP 架构设计与实现技术、多层次低冲突片上并发访存存储体系及高带宽可扩展片上互连网络设计技术、自主配套软件开发与调试集成

环境 IDE 研发技术等关键技术，研制 1 款面向边缘计算型智能通用 DSP 芯片，并实现产业化。

**考核指标：**研制出 DSP 芯片，支持 8 流出超长指令字，工作频率不低于 1GHz；集成一个基于 RISC 指令的 CPU 核，主频不低于 1GHz；片上共享存储容量不低于 4MB；可重构并行神经网络加速器算力不低于 6TOPS，支持主流神经网络结构。研制出配套软件开发与调试集成环境 IDE。至少提供 2 个用户使用案例。

#### **47.2 支持国密算法的高性能固态存储主控芯片**

**研究内容：**针对数据中心、计算机、工业等领域对固态存储主控芯片在数据安全保障、性能提升、功耗控制、纠错能力、适配覆盖以及耐用性、稳定性等方面的迫切需求，研究国产商用密码深度应用、先进数据纠错和恢复、国产 3D NAND Flash 优化适配、高性能低延时数据存取、多精简指令集 CPU 协同优化等关键技术，研制一款高性能、低功耗、强纠错、多适配、高稳定的固态存储主控芯片，并实现产业化。

**考核指标：**完成 1 款固态存储主控芯片研制，芯片采用多核 RISC-V 精简指令集嵌入式 CPU，高速接口、DDR 等核心知识产权实现国产化。支持国密 SM2/3/4 算法，取得国密二级认证。容量 512GB-4TB。顺序读速度不小于 550MB/s，顺序写速度不小于 500MB/s。支持主流闪存颗粒（国产 TLC、3D QLC 等颗粒）。支持 PLP 掉电保护。

### 47.3 电力物联网双模通信芯片

**研究内容：**针对电力物联网本地通信网络应用场景，研究包括调制解调、同步、信道估计与均衡、信源/信道编解码、频谱感知等在内的双模通信关键技术，设计基于 OFDM 体制的高速电力线载波和高速微功率无线的双模通信 SOC 芯片并成功流片，研发 MAC 层融合的双模混合组网协议栈与应用软件，开发适用于国内外各种电力物联网通信应用场景的双模通信模块产品。

**考核指标：**设计双模通信 SOC 芯片 2 款并成功流片量产，芯片主频 $\geq 180\text{MHz}$ ；集成 Flash、RAM、UART、SPI、DMA、ADC 等必备外设；集成高速电力线载波和高速无线基带硬核；集成 IFFT/FFT 等硬件加速 ASIC；集成双模混合组网协议栈。开发通信模块 2 款，通信模块支持 1000 节点以上混合路由组网；载波通信频段 2~12MHz 可配，抗衰减优于 95dB，典型通信速率 1Mbps；无线通信频段 470~510MHz 可配，接收灵敏度优于 -109dBm，典型通信速率 500Kbps。申请发明专利 10 件以上。

## 48. 先进芯片封装与测试

### 48.1 高性能处理器芯片集成封装技术

**研究内容：**针对 28nm 及以下技术节点处理器芯片集成封装自主可控和国产化需求、突破国际制约，研发大芯片大量微凸点高精度倒装、大尺寸封装翘曲的精确一致控制、超低间隙的均匀下填和高效散热通道的可控生成等关键技术；突破热-力-电协同设计和芯片-封装协同设计等多场多尺度



设计与制造；研究不同制程和功能芯片异构集成技术；开发基于高密度基板和/或 2.5D 转接板的多芯片立体集成处理器系统封装新工艺。

**考核指标：**实现微凸点尺寸 $\leq 40\mu\text{m}$ ，芯片尺寸 $>32\times 29\text{mm}$ ，封装尺寸 $>50\times 50\text{mm}$ ；可靠性等级 MSL3,T/C (G) $>1000$ 次；通过 JEDEC HTS 考核；实现至少一款国产 28nm 及以下技术节点处理器芯片的封装示范；申请发明专利不少于 10 件。

#### **48.2 大功率射频芯片模块封装材料与关键技术**

**研究内容：**针对国内通讯基站关键部件中的大功率射频芯片先进封装国产化及性能提升需求，研究高效率高增益的 5G 基站 GaN 大功率射频芯片模块；开发具有高导热、低热膨胀系数、高气密的封装管壳材料；研发具有高可靠性的基于高导热低温无压烧结封装工艺和封装集成技术。

**考核指标：**封装材料实现管壳法兰导热率 $\geq 350/\text{mK}$ ，CTE $\leq 8.5\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ，气密性通过 GJB548A-96 测试；通过 JEDEC 标准 TCC 1000cycle；申请发明专利不少于 10 项。

### **十五、前沿交叉技术专题**

#### **49.1 自主可控高精度量子绝对重力仪关键技术**

**研究内容：**针对建设高精度、高集成时频基准及重力基准的紧迫需求，研制赶超国际先进水平的、拥有自主知识产权的新一代高精度量子绝对重力仪，研发全光纤激光系统、超高真空维持系统、集成化电控系统、室外复杂环境鲁棒性

提升等关键技术，研制自主可控的室外可移动高精度绝对重力仪产品。

**考核指标：**研制 1 种自主可控高精度绝对重力仪样机，关键零部件国产化率达 80%以上，整机体积小于 0.3m<sup>3</sup>，30 分钟时间内重力加速度测量精度优于 0.1mGal。

#### **49.2 软件定义的毫米波 4D 成像雷达研制**

**研究内容：**针对智能、安全和高效的新一代自动驾驶平台的需求，研究毫米波 4D 成像雷达单元大角度弱目标检测技术、复杂道路环境的抗杂波技术、基于人工智能的道路目标识别技术、复杂路口环境极多目标交叉轨迹的跟踪技术、多视角道路场景感知和融合技术以及交通态势感知中目标类型识别技术，研制高精度的软件定义毫米波 4D 成像雷达。

**考核指标：**研制出新一代毫米波 4D 成像雷达，探测距离 $\geq 50$  米，单帧点云数量 $\geq 1500$  个，10Hz/s 刷新率，速度 $\pm 100$ km/h，水平角度 $\pm 60^\circ$ ，俯仰 $\pm 15^\circ$ ，实现探测范围内提供良好的目标点云输出能力，同时具有极高的准确率，实现对人、车、减速带等 5 种以上不同类型目标高精度区分，提供高精度、全方位的行驶场景数据，打造更智能、更安全和更高效的新一代自动驾驶平台。

#### **49.3 AR 眼镜用 Micro-LED 芯片研制**

**研究内容：**针对虚拟现实技术装备用硅基 Micro-LED 制备技术难题，围绕 Micro-LED 材料、器件、显示芯片等方面开展系统研究，开发大尺寸硅基 GaN 外延片制备工艺，研制 20 微米以下 Micro-LED 器件，设计高分辨率 Micro-LED 微

显示阵列并最终实现基于 Micro-LED 器件的单色显示设备。

**考核指标：**硅衬底蓝光 Micro-LED 外延片，衬底尺寸 $\geq 6$  英寸，材料缺陷密度 $<3 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$ ，波长 STD $<1.5 \text{nm}$ ；Micro-LED 蓝光芯片器件尺寸 $\leq 20 \mu \text{m}$ ，EQE $\geq 30\%$ ；单色 Micro-LED 显示样机尺寸 $\geq 0.3$  英寸，分辨率 $\geq 2000 \text{PPI}$ ，亮度 $\geq 100000 \text{cd/m}^2$ ；彩色 Micro-LED 显示样机尺寸 $\geq 0.3$  英寸，分辨率 $\geq 1000 \text{PPI}$ ，亮度 $\geq 5000 \text{cd/m}^2$ 。

#### 49.4 单晶金刚石第四代半导体衬底及其装备研制

**研究内容：**研究单晶金刚石第四代半导体及先进微电子材料制备工艺、单晶生长 CVD 装备、器件制造及应用，突破材料、工艺、装备、应用等产业链关键技术，在国内率先打通“第四代半导体”产业化路径，并初步形成产业化能力。

**考核指标：**制备高质量 4 英寸金刚石晶圆；制成具有超高能带隙（ $5.4 \text{eV}$ ）、击穿电场（ $10 \text{MV cm}^{-1}$ ）和热导率（ $22 \text{W cm}^{-1} \text{K}^{-1}$ ）的单晶金刚石器件；实现单晶金刚石器件中全局 5% 以上最大接近 10% 的弹性应变控制；实现金刚石的电子能带隙的深层次调控（约  $1\text{-}2\text{eV}$ ）。

#### 49.5 无扩口式航空管路接头电液胀接技术

**研究内容：**针对战机燃油管路导管和管套连接预装难题，研发高可靠性电液胀接成套设备；研发柔性电液胀接平台，建立电液胀接工艺数据库；建立不同管路形式和多种材料混合结构服役性能评价体系，解决挤压式无扩口管路件中管套和导管电液胀接瓶颈。

**考核指标：**部件重量降低 20%~30%，连接强度比同类

工艺提高 15%以上，连接疲劳性能在低频测试时可以达到百万次循环，连接接头在不低于 35MPa 工作压力的气压试验中无泄漏，生产效率较同类产品提升最高 30%。

#### **49.6 新型显示用高世代玻璃基板研制**

**研究内容：**针对高世代玻璃基板生产线的合格率和生产效率相对低、生产运行长期稳定性待提升等难题。开展热端高温窑炉、铂金通道系统、成型生产工艺优化、装备大流量化的技术攻关，重点攻克以下 5 个方面的技术难题：（1）难熔玻璃的高质量熔化、各种气泡形成机理和排除方法研究；（2）高引出量长寿命窑炉装备设计；（3）大尺寸超薄玻璃成型工艺研究；（4）产品品质的一致性和生产稳定性智能控制问题；（5）可大幅度延长生产线寿命并可大规模生产的高性能玻璃配方。

**考核指标：**G8.6 玻璃基板尺寸 2.25x2.5，厚度 0.5mm；玻璃基板厚薄极差 12 微米以下；玻璃基板翘曲小于 100 微米；玻璃基板低于 120psi；气泡排除工艺一套；高引出量长寿命窑炉装备设计一套；稳定生产智能控制技术一套；生产线合格率提升至 75%以上；发明专利申请 10 项。