

## 附件 3

# “高端功能与智能材料”重点专项 2022 年度项目申报指南

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，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。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2022 年度项目申报指南。

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、深海/深空/深地探测等重要领域的发展，补短板与建优势并举，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。

2022 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕先进能源材料、关键医用与防疫材料、高端分离膜与催化材料、机敏/仿生/超材料、特种与前沿功能材料，以及材料基因工程应用技术 6 个技术方向，按照基础研究类、共性关键技术类、应用示范类三个层面，拟启动 61 项指南任务，拟安排国拨经费 6.92 亿元。其中，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等技术方向，拟部署 10 个青年科学家项目，拟安排国拨经费 3000 万元，每个项目 300 万元。应用示范类项目配套经费与国拨经费比例不低于 1:1。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。除特殊说明外，每个方向拟支持项目数为 1~2 项，实施周期不超过 3 年。申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。基础研究类项目下设课题不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 6 家；共性关键技术类和应用示范类项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家。项目设 1 名项目负责人，项目中每个课题设 1 名课题负责人。

青年科学家项目不再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。项目设 1 名项目负责人，青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为 1984 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1982 年 1 月 1 日以后出生。原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

指南中“拟支持数为 1~2 项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这 2 个项目。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

## **1. 先进能源材料**

### **1.1 高性能低成本柔性光伏电池关键材料与模组研究及应用（应用示范类）**

研究内容：围绕电子设备和移动电源轻、薄、柔的发展趋势，发展新一代高效稳定柔性太阳能电池的关键材料和模组制备技术：开发高性能柔性衬底及电极材料，研制与柔性制备兼容的低

成本光活性层材料和电荷传输层材料，实现各功能层材料的大面积均匀、连续化成膜；研究柔性太阳能电池电荷输运性质，提升单结柔性太阳能电池效率；发展柔性太阳能电池模组的关键制备及封装技术；研究柔性太阳能电池的工况稳定性以及耐弯折稳定性，提升柔性太阳能电池组件稳定性；开展高性能低成本柔性光伏电池的应用示范。

考核指标：柔性衬底材料和透明导电电极材料可见光平均透光率  $\geq 85\%$ ，厚度均匀性差异  $\leq 10\%$ （面积  $100\text{cm}^2$ ）；光照 AM1.5G 条件下，单结柔性太阳能电池模组功率转换效率  $\geq 20\%$ （面积  $100\text{cm}^2$ ）；柔性光伏组件功率转换效率  $\geq 15\%$ ，组件功率质量比  $\geq 5000\text{ W/kg}$ （面积  $\geq 1000\text{ cm}^2$ ）；连续 AM1.5G 光照 3000h 后效率保持 90% 以上，柔性电池模组弯曲/恢复交替 10000 次（曲率半径  $\leq 0.5\text{cm}$ ）后效率维持初始值 90% 以上；实现 kW 级以上柔性光伏电池验证与示范。

## 1.2 极端条件储能电池及关键材料（共性关键技术类）

研究内容：针对高寒酷热、深空极地等极端条件储能应用的需求，设计开发具有极端条件下稳定的关键正负极和电解质材料；研究极端条件下材料的传质传荷动力学与结构稳定性及对电池性能的影响机制，研究电极/电解质界面膜在极端条件下的动态演化及失效机制；设计和优化电芯结构，开发制备极端条件性能优异的储能电池；开展高寒酷热、模拟深空极地等极端条件下储能电池的应用验证研究。

考核指标：在-50℃条件下，正负极容量保持率 $\geq 70\%$ ，电解液离子电导率 $\geq 1\times 10^{-3}\text{S/cm}$ ；电池工作温度范围达到-50~80℃，常温下，1C循环2000周，容量保持率 $\geq 80\%$ ；-50℃、0.2C倍率下容量保持率 $\geq 60\%$ ；80℃、1C倍率下容量保持率 $\geq 95\%$ ，循环寿命 $\geq 500$ 次。极地环境用电池-50℃循环300次容量保持率 $\geq 80\%$ ，单体能量密度 $\geq 300\text{Wh/kg}$ 。深空环境用电池耐受-120℃低温冲击，-50℃和80℃下容量保持率分别达到室温容量的50%和90%，100%荷电状态下存储12个月后容量保持率 $\geq 80\%$ 。

### 1.3 高安全锂离子动力与储能电池关键材料及应用（应用示范类）

研究内容：面向新能源汽车和规模储能等领域对高安全锂离子电池的迫切需求，发展电池性能和安全状态的在线和快速诊断及预警技术，研究电池安全影响因素及失效机理；开发高安全电解质体系，研究其与电极材料的界面特性；开发高安全防微短路耐热隔膜材料，研究其在电池中的服役行为；开发电池耐穿刺的聚合物复合铜箔和铝箔集流体材料，研究其对电池热失控的影响以及安全性能优化机制，开发规模化制备技术；在上述关键材料的基础上，实现动力与储能电池的本征安全。

考核指标：高安全电解质体系中，液体电解质体系闪点 $\geq 100^\circ\text{C}$ ，电化学窗口0~4.8伏；固态电解质室温电导率 $\geq 1$ 毫西门子/厘米，膜厚度 $\leq 20\mu\text{m}$ ，锂离子迁移数 $\geq 0.8$ 。高安全防微短路耐热隔膜材料，透气性 $\leq 1$ 毫升/10分钟，300℃热收缩率 $\leq 3\%$ ，

耐电解液酸碱腐蚀，拉伸强度 $\geq 75\text{MPa}$ ，抗穿刺强度 $\geq 400$ 克力，离子电导率 $\geq 2.5$ 毫西门子/厘米，满足锂离子电池高速充放电需求，实现日产1万平方米能力。耐穿刺复合集流体材料，正极集流体厚度 $\leq 7\mu\text{m}$ ，断裂强度 $\geq 150\text{MPa}$ ；负极集流体厚度 $\leq 6\mu\text{m}$ ，断裂强度 $\geq 120\text{MPa}$ ；实现日产5万平方米的生产能力。电池在服役过程中容量衰减和安全状态预测误差 $\leq 10\%$ ；应用本项目开发的材料组装的电池热失控触发的温度 $\geq 200^\circ\text{C}$ ，能量密度 $\geq 300$ 瓦时/公斤的电池穿钉后不冒烟不起火且能正常完成放电，技术就绪度达到6级以上，并完成千瓦时级以上储能系统示范应用。

#### 1.4 高效低成本光催化制氢关键材料及应用(共性关键技术类)

研究内容：围绕氢能源产业发展的重大需求，发展高效低成本光解水制氢关键材料及技术。研究高效低成本光催化制氢材料的结构设计、微结构调控及其与产氢活性的构效关系，以及光催化材料载流子分离、传输与表界面反应的原位表征分析方法；发展高效低成本非贵金属光催化材料，研发其可控合成新技术，解决中试生产关键技术，并建立百公斤级中试生产线；发展高析氢选择性催化材料，研究催化材料在海水中的使役特性，构建太阳能分解海水制氢体系。

考核指标：光催化材料产氢量子效率 $\geq 80\%$ ，产氢稳定性 $\geq 1000\text{h}$ ；分解海水催化剂面积 $\geq 1$ 平方米，太阳能分解海水制氢能量转化效率 $\geq 15\%$ ，选择性 $\geq 99\%$ ；制氢成本 $\leq 20$ 元/公斤；形成百公斤级非贵金属催化剂中试生产线。

### 1.5 高效高安全氢储运关键合金材料开发及应用(应用示范类)

研究内容：针对目前氢能领域亟需高效高安全规模化氢气储运技术的现状，开发储运氢容量高、安全、长服役寿命的关键合金材料及其制备技术，突破材料规模化稳定制备、与应用场景耦合的高能效高安全储运氢系统集成等关键技术，开展氢储运应用验证。

考核指标：高温型储氢合金的重量储氢密度 $\geq 6.0\text{wt}\%$ 、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 $\geq 4.5\text{wt}\%$ ；低温型合金的有效储氢密度 $\geq 2.5\text{wt}\%$ 、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，建立相应的储氢材料生产工艺规范；完成储氢合金的氢储运应用验证。

### 1.6 大功率供氢系统用常温常压储氢材料技术及应用(应用示范类)

研究内容：针对目前能源、交通、化工等领域亟需大功率常温常压大容量储氢技术的现状，开发储氢容量高、常温常压、动力学响应速度快、长服役寿命的关键合金材料及其制备技术；研制合金材料批量化制备设备；实现合金材料规模化制备；突破常温常压快速动态响应的大功率供氢系统集成等关键技术；开发以常温常压固态储氢为基础的固态/高压复合储氢系统，并开展应用示范。

考核指标：储氢合金的重量储氢密度 $\geq 3.5\text{wt}\%$ 、放氢温度 $\leq$

50°C、充氢压力 $\leq 5.0\text{MPa}$ ， $0.2\text{MPa} \leq$ 放氢平台压力 $\leq 1.0\text{MPa}$ ，年产百吨级规模能力，合格率95%以上。固态/高压（20MPa）复合储氢系统体积储氢密度 $\geq 60$  公斤  $\text{H}_2$ /立方米，重量储氢密度 $\geq 2\text{wt}\%$ ，放氢速率 $\geq 10$  立方米/分钟，用于10立方米系统下的额定储氢量 $\geq 300$  公斤。建成固态/高压复合储氢大功率供氢系统应用示范工程。

### 1.7 近室温高性能热电材料的批量制备技术与制冷器件集成（共性关键技术类）

研究内容：面向5G关键光芯片、生命健康、车载激光雷达等精准控温和热管理应用场景，探索高力学性能、高热电性能的近室温热电材料输运机制和构效关系，发展批量化制备技术；探索基于新原理、新结构、新效应的新型热电材料及其微观输运机制；研制出高效高可靠薄膜柔性热电材料及面内高效散热原型系统；发展微型热电制冷器件的低阻高强异质界面连接与集成制造技术。

考核指标：获得高强度高热电性能近室温热电材料低成本批量化制备技术，250~400K范围内热电优值 $ZT \geq 1.4$ ，材料切割加工尺寸达 $100\ \mu\text{m}$ 量级；开发出1~2种基于新原理的新型热电材料，250~400K范围内热电优值 $ZT \geq 0.8$ ；研制出具有优异性能的柔性热电薄膜，室温功率因子 $\geq 3\ \text{mW/mK}^2$ ，1000次弯曲性能衰减 $\leq 5\%$ ，柔性热电薄膜器件制冷温差 $\geq 3\ \text{K}$ ，近室温下制冷功率密度 $\geq 100\ \text{W/cm}^2$ ；获得低阻高强异质界面连接技术，界面电阻 $\leq$

$2 \mu\Omega \text{ cm}^2$ ，结合强度  $\geq 20 \text{ MPa}$ ，热电制冷器件热端温度在室温附近时产生的最大温差  $\geq 73 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

### 1.8 面向强磁场装备应用超导材料批量制备技术（共性关键技术类）

研究内容：面向强磁场装备应用对高性能  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  超导线材提出的迫切需求，开发高临界电流密度内锡法  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  线材全新的  $\text{Nb}/\text{Sn}/\text{Cu}$  组元结构设计、元素掺杂改善磁通钉扎特性控制、多组元复合体塑性加工技术；研制高锡含量青铜合金棒材，开发难变形青铜法  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  线材塑性变形控制、塑性变形过程中快速去应力退火新技术。基于国产  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  超导线材，开发高场超导磁体电—磁—热—力多场耦合设计新方法，突破高磁场下  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  超导接头、超导线圈的环氧浸渍强化等共性关键技术，制备出满足应用要求的高场超导磁体。

考核指标：内锡法  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  超导线材，在 4.2K、12T 下临界电流密度达到  $2800\text{A}/\text{mm}^2$ ，抗拉强度达到  $180\text{MPa}$ ；青铜法  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  超导线材，在 4.2K、12T 下临界电流密度达到  $1200\text{A}/\text{mm}^2$ ，抗拉强度达到  $300\text{MPa}$ 。两类  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  超导线材单根长度均大于 2000 米。研制的  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  超导磁体磁场强度水平不低于 16T，满足高端科学仪器装备等领域对高场超导磁体应用需求。

### 1.9 面向第三代半导体应用的高频软磁材料（共性关键技术类）

研究内容：为满足第三代半导体器件在信息通讯、新能源汽车、5G 终端等领域对高频功率电源的应用需求，研制高频下高性

能、低损耗的软磁材料：研究软磁材料在高频下损耗及磁化作用机理，解析磁耦合、磁畴、磁化、应力等对高频软磁性能的影响机制；开发先进的高频电源、高端电感元件用磁性材料制备工艺技术；开展高频高性能软磁材料在 SiC 和 GaN 第三代半导体电源模块中的关键技术集成研究并示范应用。

考核指标：SiC 半导体器件用软磁材料：在可编程电源中，功率  $\geq 30\text{kW}$ 、正弦工作频率  $\geq 10\text{kHz}$  下，铁芯损耗  $P_{\text{cm}}$  (10kHz, 0.5T)  $\leq 0.036\text{W/cm}^3$ ，铁芯磁导率  $\mu_{10\text{kHz}} \geq 30000$ ，电源效率提高到 95% 以上；在功率电感中，铁芯初始磁导率  $\mu_i \geq 180$ ，饱和磁感应强度  $B_s \geq 1.2\text{T}$ ， $P_{\text{cv}}$  (100kHz, 0.05T)  $\leq 0.15\text{W/cm}^3$ 。GaN 半导体器件用软磁材料：一体成型电感用软磁材料，损耗  $P_{\text{cv}}$  (1MHz, 0.1T)  $\leq 15\text{W/cm}^3$ ，磁导率  $\mu_{1\text{MHz}} \geq 30$ ，直流偏置 DC-bias (100 Oe)  $\geq 60\%$ ， $B_s \geq 1.0\text{T}$ ；铁氧体材料，在电源功率  $\geq 65\text{W}$ 、工作频率  $\geq 5\text{MHz}$  下， $P_{\text{cv}}$  (5MHz, 0.05T)  $\leq 4.5\text{W/cm}^3$ ， $\mu_i \geq 800$ ，电源模块充电速度提高 50% 以上。实现高频高性能软磁材料在高频大功率电源、光伏电源、汽车电子和 5G 终端设备领域中的示范应用。

## 2. 关键医用与防疫材料

### 2.1 高性能绿色防疫材料及产业化（应用示范类）

研究内容：面向高性能绿色防疫材料需求，开发瞬时释压法耐磨透湿高阻隔聚乙烯纤维非织造材料技术；开发高精度纳米纤网静电成型技术，研制纤维低离散度的长效无驻极高精度空气过滤材料；开发可降解聚合物熔喷成纤技术，研制高效低阻非织造

物；开发超低阻物理拦截型 PTFE 纤维微孔空气过滤膜，并建立异步式 PTFE 膨体拉伸成膜技术；开发高效主动防御抗菌抗病毒助剂，建立原位共聚熔融纺丝技术，发展系列高效抗菌抗病毒纤维材料。

考核指标：耐磨透湿高阻隔聚乙烯纤维直径 0.1~5 $\mu\text{m}$ ，基于上述纤维的防护服耐磨性>25000 次/9kPa、透湿量>6000 g/( $\text{m}^2\cdot\text{d}$ )、抗合成血液穿透性 $\geq 4$  级；静电成型纤维平均细度 $\leq 300$  nm，长效无驻极滤材过滤效率>99.97%，过滤阻力<220 Pa；可降解熔喷纤维滤料 KN95 级阻力<100Pa、KN99 级阻力<150Pa、过滤效率 $\geq 95\%$ 、弃用堆肥降解<180d；超低阻 PTFE 纤维膜平均孔径 0.2~0.5 $\mu\text{m}$ ，对 0.3 $\mu\text{m}$  颗粒物的物理拦截过滤效率 $\geq 90\%$ ，阻力小于 25Pa，全生命周期内效率不衰减；熔纺高效抗菌抗病毒纤维抑菌率 $\geq 99\%$ ，抗病毒率 $\geq 99\%$ ；建成千万平米/年耐磨透湿高阻隔聚乙烯纤维非织造材料、百万平米/年静电成型非织造材料、五百万平米/年可降解驻极熔喷滤材和 PTFE 纤维膜、千吨级抗菌/抗病毒熔融纤维生产示范线，实现 4~5 种安全性高、具有主动防护性能的防护服示范应用。

## 2.2 微创治疗用活性组织修复材料（基础研究类）

研究内容：针对外科手术创伤大、修复慢以及手术适应证范围窄、并发症发生率高等重点难点问题，研发基于微创技术与材料原位激发组织再生相结合、用于精准治疗的新型可注射活性组织修复材料；研究材料的流变学特性以及材料在体内原位固化机制，

探索材料体内激活内源性再生能力与调控再生微环境促进损伤器官原位再生的相关机制；研究骨、软骨、口腔等病损组织精准修复用的可注射、原位固化、力学性能可控、生物活性良好、具有生物学激发效应的活性组织修复材料，并研制与此相适应的配套器械。

考核指标：2~3种完全可注射的高效修复材料体内固化时间15~30 min，且固化过程热量变化不大于2℃，体内造影效果明显，生物相容性满足国标要求。用于骨缺损的可注射材料成型后压缩模量在50~200 MPa，3~12个月内实现体内完全降解，12个月内实现大动物脊柱的缺损修复；用于软骨缺损的可注射材料压缩模量在50~200 kPa，在1~3个月内实现大动物关节软骨缺损修复；用于口腔缺损修复的可注射材料压缩模量为200 kPa~10 MPa，在3~6个月内实现大动物口腔缺损修复。阐明微创精准治疗用活性组织修复材料的生物学效应和组织再生调控机制。完成2~3种微创治疗用材料的中试化生产和临床前研究；开发适于微创治疗的相应配套器械；获得不少于4项核心发明专利，形成至少2种可注射活性组织修复材料的临床治疗技术方案。

### **2.3 动态自适应和主动组织修复生物材料及关键技术（共性关键技术类）**

研究内容：面向硬/软组织损伤修复的重大需求，研究基于多糖、蛋白质的动态细胞自适应、组织高粘附性和组织环境友好水凝胶材料及分子设计；研究具有主动组织修复性能的仿生水凝胶

材料；研究硬组织植入物界面的水凝胶涂层材料及制备技术；开发水凝胶微观动态结构自调控和水凝胶先进增材制造等关键技术；研究上述水凝胶材料的生物适配性，实现硬/软组织生物适配性主动修复。

考核指标：获得 3~5 种基于多糖、蛋白质的动态自适应和主动组织修复水凝胶生物材料；水凝胶与硬骨组织植入物表面结合强度达 80 kPa 以上，与宿主骨组织的结合强度达到 50 kPa 以上；水凝胶涂层的新生骨组织覆盖率达 90% 以上，组织修复进程缩短 20%；用于软骨组织修复的水凝胶植入物宏观杨氏模量达到 1~3 kPa，损耗模量在 0.04~0.6 kPa 范围内可调，实现动态水凝胶 10 秒内松弛 50% 应力负荷；水凝胶可按照组织缺损形状塑形，实现 90% 以上的界面吻合；建立 2~3 种大尺寸（直径 > 1cm，高度 > 1cm）仿生水凝胶的 3D 打印关键技术，3D 打印水凝胶孔隙率大于 55%，杨氏模量达 5 kPa，断裂能达 10 kJ·m<sup>-2</sup>；完成 1~2 种动态自适应和主动组织修复水凝胶材料的临床前研究。

#### 2.4 病灶微环境响应的催化医学材料（基础研究类）

研究内容：面向恶性肿瘤及致病菌感染等重大疾病的精准治疗，研究能响应病灶微环境原位催化产生活性氧等治疗性物种的掺杂/负载型介孔氧化硅、磁性金属氧化物、无机二维层状、微生物基复合材料等纳米催化医学材料，建立从分子尺度到百纳米尺度的组份结构和纳米催化特性调控等关键材料技术，阐明材料结构与病灶微环境响应及免疫激活等生物学效应之间的构效关系，

提高肿瘤及感染性疾病的特异性治疗效果。

考核指标：获得 6~8 种对病灶微环境或者外场（光、声等）高灵敏响应，且具备良好生物安全性和高催化活性的纳米催化医学材料；催化活性组分掺杂/负载量（质量）分别不低于 10%和 20%；材料的颗粒分布指数 $<0.1$ ，生理条件下稳定分散时间 $\geq 60$ 天；14 天体内材料的降解率和代谢率 $\geq 90\%$ ；实现不少于 5 类催化医学材料的肿瘤特异性化学反应，催化的响应时间 $\leq 20$ 分钟；60 分钟内，芬顿反应的过氧化氢催化转化率不低于 95%、抗氧化的活性氧清除效率不低于 90%；目标产物在病灶部位与正常组织的产率比 $\geq 50$ ；完成 2~3 种催化医学材料在实验动物水平的安全性评价，及其与免疫疗法协同的治疗效果评价；开展基于医学伦理的临床试验 10 例以上。

## 2.5 细胞功能调控的活性生物材料（共性关键技术类）

研究内容：面对恶性肿瘤的治疗需求，研究调控肿瘤细胞死亡模式的多肽、聚多肽、聚酰胺一胺类等材料；研究调控肿瘤相关免疫细胞功能的无机矿化材料及仿生材料等；开发肿瘤微环境响应的材料特性转变或原位组装技术、多层次手性结构精准构筑技术、原位矿化掺杂技术等关键技术；开展上述活性生物材料的功效评价，实现高效的细胞功能调控和肿瘤治疗。

考核指标：获得 5~8 种调控肿瘤细胞死亡模式或肿瘤相关免疫细胞功能的活性生物材料，其中 2 种及以上实现规模化合成，单批次不低于 1 公斤；多肽、聚多肽材料分子量范围 2~20 kDa

之间可调，聚多肽分子量分布 $<1.5$ ，在肿瘤组织实现二级结构等性能转变时间 $<10$  min；聚酰胺—胺类材料的分子量 20~40 kDa 之间可调，分子量分布 $<1.2$ ；无机矿化材料粒径在 50~200 nm 之间可调，颗粒分布指数 $<0.2$ ，颗粒化学纯度 $>95\%$ ，在肿瘤组织降解半衰期 $<12$  h；上述活性生物材料对肿瘤细胞有高选择性，杀伤效果提高 30 倍以上，完成 3~5 种调控细胞功能的活性生物材料在动物水平的疗效评价，肿瘤增殖率 T/C (%)  $<5\%$ 。

## 2.6 疾病诊断和诊疗一体化影像生物材料（基础研究类）

研究内容：基于磁共振成像介导可视化治疗和疗效评估的重大需求，研究用于影像介导化学动力学治疗（CDT）的零价铁基磁性材料及其晶相可控制备技术，阐明材料微观结构与（类）芬顿反应活性之间的构效关系；研究免疫调控功能的铁基诊疗生物材料及其异质界面控制合成技术，并研究材料理化性能与肿瘤免疫疗效之间的关联；研究内源性微环境或外场高灵敏驱动的铁基材料组合体，建立可控组装技术；研究上述铁基生物材料的效能，并进行生物安全性评价。

考核指标：获得 5 种以上诊疗一体化生物材料；零价铁基材料的颗粒分布指数 $<0.1$ ，粒径 $<30$  nm，饱和磁化强度 $>90$  emu/g，其中 1 种以上材料实现宏量化制备，产能 50 千克/年以上；1~2 种肿瘤 CDT 过程中代谢分子的动态磁共振影像活体检测限 $<1$  mmol/L；铁基复合材料的弛豫率比值  $r_2/r_1 < 5$  ( $T_1$  造影) 或  $r_2/r_1 > 100$  ( $T_2$  造影)，肿瘤免疫治疗过程的磁共振动态监测分辨率达到亚

毫米级别；获得 2 种以上内源或外场驱动的铁基材料组合体，至少 1 种组合体的异质结合率大于 90%，病灶区的组合体富集率>15%。

## 2.7 组织修复用多级微结构仿生支架材料及关键技术（基础研究类）

研究内容：面向心脏、脑等重要脏器损伤修复治疗的重大需求，研究模拟心肌组织/脑组织三维空间结构组成并主动调控心梗、脑梗病理微环境（缺血、缺氧、炎症等）的组织再生修复支架材料，建立抗氧化、促血管形成、促再生性修复的支架多级微结构调控技术；研究与心肌组织/脑组织特异性力学和电学性能相似的力电耦合支架材料，开发材料的力电耦合调控技术；研究多级微结构和力电耦合支架材料的生物安全性，评价多级微结构和力电耦合性能对组织再生性修复的促进作用。

考核指标：获得 8~10 种由 2 种以上不同层级/尺度（纳米—亚微米—微米）结构单元组成并模拟心肌组织/脑组织空间排布、取向的多级微结构支架材料。不同层级结构单元的尺寸比 $\geq 100$ ，取向度 $\geq 80\%$ ，支架材料促进动物病灶区新生血管数量增加 $\geq 20\%$ 、纤维化程度下降 $\geq 25\%$ ；获得 3~5 种匹配心肌组织/脑组织电传导的力电耦合支架材料，力电耦合压阻常数 $>0.001 \text{ kPa}^{-1}$ ；完成至少 50 例大动物的心梗/脑梗修复支架材料的体内效果验证研究；制定并申报 1~2 项心肌组织/脑组织损伤修复支架材料行业标准。

## 2.8 组织、器官再生用柔性电子材料和器件（基础研究类）

研究内容：面向器官缺损的医疗需求，研发诱导器官发育与再生的镓合金液态金属—高弹体或水凝胶复合柔性电子材料，并建立复合柔性电子材料的微纳米级图案化印刷技术；研究直接与细胞接触的刺激响应高分子复合柔性电子材料及其生物相容性，并建立精准可控的药物装载、存储与释放的关键技术；研发电子—生物双向交互、监测和干预生物电信号的柔性微电极阵列器件，及面向体外人工器官生成和体内原位器官再生关键柔性电子材料与器件。

考核指标：获得用于诱导器官发育与再生且基于镓合金液态金属—高弹体或水凝胶复合柔性电子材料 3 种以上，其弹性模量为 0.5~100 kPa，形变率大于 200%，反复形变大于 10000 次，且 10000 次反复形变后电导率下降<5%，完全生物降解时间<100 天；刺激响应高分子复合柔性电子材料响应温度在 45 摄氏度左右，响应电压在 10~100 伏特之间，药物装载率>90%，药物释放率>90%，能精准控制释放 10 种以上化学小分子或核酸分子；微电极阵列中电极（包括薄膜电极或纤维电极）和导线尺寸精度在 10 $\mu$ m 到 100 $\mu$ m 之间，阵列通道数 $\geq$ 64，拉伸率>50%，与组织间粘附强度>0.2 MPa；获得用于建构脑、心、肺等体外人工器官的柔性电子材料 5 种以上，用于电子—生物交互与脑、心脏功能恢复的柔性电子材料与器件 2 种以上，完成大动物体内植入评估。

### 3. 高端分离膜与催化材料

### 3.1 混合基质型渗透汽化膜材料制备技术（共性关键技术类）

研究内容：针对化工、轻工等行业有机溶剂分离回收对混合基质型渗透汽化膜材料的需求，开发优先透醇/透水的填料，研究填料形貌、尺寸和气体传输通道的调控方法，以及其在聚合物基质中分散和稳定机制；研究混合基质复合膜的成膜及界面结合机制，开发高界面结合强度的混合基质膜的规模化制备技术及膜组件，开展膜材料在溶剂体系中的稳定性研究；开发多通道管式无机载体支撑的复合膜、组件及应用技术。

考核指标：研发出幅宽大于 1m 的混合基质渗透汽化膜，填料粒径小于 100nm，膜分离性能提升 20%，单个膜组件的膜面积大于 10 m<sup>2</sup>；研发出装填密度大于 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> 的有机无机复合膜及整体密封的膜组件；规模化制备的混合基质膜在乙醇/水（5 wt%，40℃）和丁醇/水（1 wt%，40℃）下测试，渗透通量分别 ≥ 1500 和 1800 g/（m<sup>2</sup>·h），分离因子分别 ≥ 12 和 40；开发千吨级/年 3 种溶剂体系分离回收的膜应用装置，稳定性考核时间 > 1000h，溶剂回收率大于 90%。

### 3.2 超浸润复合纤维膜材料规模化制备技术（共性关键技术类）

研究内容：面向海水脱盐、油水乳液分离、油烟治理等对超浸润复合纤维膜材料需求，研究材料的表界面与分子之间的作用机制、固-液界面的调控规律以及低温蒸发焓的降低机理，开发具有特殊浸润性的纤维及其成膜技术；优化膜材料的光热转化效率和抗污染性能，开发新型的太阳能海水净化装置；研究纤维抗

油污机理，开发疏油疏水性能可调控的纤维膜材料，研制油水乳液快速分离装置及含油烟气净化装置。

考核指标：纤维直径在  $0.1\sim 10\ \mu\text{m}$  范围可调，纤维膜的孔隙率大于 50%、表面水接触角小于  $30^\circ$  或大于  $150^\circ$ ；太阳能海水脱盐功能：水在材料表面的蒸发焓小于  $2000\ \text{J/g}$ ，在  $1\ \text{kW/m}^2$  模拟太阳光下蒸发速率（无辅助条件下）大于  $2.2\ \text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，连续使用 1000 h 后，纤维膜表面无盐颗粒析出，制备的淡水中钠离子残留浓度小于  $1\ \text{mg/L}$ 、硼含量  $<0.5\ \text{mg/L}$ ；油水乳液分离用纤维复合膜表面油接触角小于  $30^\circ$  或大于  $150^\circ$ ，在油浓度  $500\sim 5000\ \text{mg/L}$  的条件下，膜通量  $\geq 1000\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{bar})$ 、油水乳液分离率大于 99.5%，运行 1000h 后通量下降小于 20%；含油烟气分离用纤维复合膜气体渗透通量  $\geq 300\ \text{Nm}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{kPa})$ ，油去除率大于 99.5%，连续运行 1000h 后通量下降小于 10%。

### 3.3 特种表面性质的陶瓷膜制备与应用（应用示范类）

研究内容：面向石化、制药行业降本增效对特种陶瓷膜的需求，研究膜表面性质对油中少量水高效脱除的影响规律；研究胶体、微粒等与膜表面的相互作用关系，发展膜表面抗污染策略；开发大尺寸的陶瓷膜制备技术；研究特种表面性质的陶瓷膜技术与废油再生、溶剂萃取、植物提取、生物发酵等单元过程的耦合工艺，发展成套设备规模化制备关键技术，开展工程应用示范。

考核指标：开发出 2~3 种孔径特种表面性质的陶瓷膜材料；

膜表面水接触角大于  $135^\circ$  或小于  $30^\circ$ ，在温度  $150^\circ\text{C}$  环境中，膜表面性质保持稳定  $\geq 1000\text{h}$ ；开发出外径  $\geq 60\text{mm}$ 、长度  $\geq 1.5\text{m}$  的大尺寸陶瓷膜，油中水去除率大于  $99.5\%$ ；特种表面性质陶瓷膜在化工、制药等行业建成万吨级规模化应用示范装置 2 个以上，与商品化陶瓷膜相比，特种表面性质陶瓷膜的稳定通量提升  $50\%$ ，循环流速降低  $30\%$  以上。

### 3.4 一/二价高选择性的离子交换膜制备及应用技术(共性关键技术类)

研究内容：面向化工、电池等行业离子高效分离的需求，开发低面电阻、高离子选择性、高一价离子通量、高稳定性的专用一/二价选择性离子交换膜材料；研究一/二价选择性离子交换膜材料及膜堆组件制造核心关键技术，开展一/二价选择性离子交换膜规模化制备和应用。

考核指标：建成  $10$  万  $\text{m}^2/\text{年}$  的一/二价选择性离子交换膜中试线 1 条，膜片幅宽  $\geq 1.0\text{m}$ ；膜材料离子交换容量  $\geq 1.0\text{mmol/g}$ ，机械强度  $\geq 40\text{MPa}$ ，厚度  $\leq 120\mu\text{m}$ ，面内容胀率  $\leq 20\%$ ，含水率  $\leq 40\%$ ，膜面电阻  $\leq 5\Omega\cdot\text{cm}^2$ ；一/二价选择性阳离子交换膜选择性指标： $\text{Li}^+/\text{Mg}^{2+}$  选择性  $\geq 8$ ， $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  选择性  $\geq 10$ ， $\text{H}^+/\text{M}^{2+}$  选择性  $\geq 50$  ( $\text{M}^{2+}$ =金属离子)；一/二价选择性阴离子交换膜选择性指标： $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  选择性  $\geq 15$ ；建成百吨级的应用装置， $1000$  小时运行后膜分离性能下降率小于  $10\%$ 。

### 3.5 自具孔聚合物膜材料的关键技术(基础研究类)

研究内容：围绕共价有机框架材料、固有微孔材料等自具孔聚合物新型膜材料的开发，研究膜材料的单体设计、合成技术，探索膜微观结构形成机理及精密构筑方法；研究膜限域传质与分离机制及膜材料在有机溶剂中的结构演变规律及构效关系；开发耐溶剂型自具孔聚合物膜材料制备关键技术，开展验证性应用研究。

考核指标：开发自具孔聚合物膜材料的单体设计、合成及膜制备关键技术，研制出 4 种以上能在有机溶剂体系（烃类、醇类、酮类、酯类等）中长期稳定的孔径小于 2nm 的自具孔聚合物膜，开展用于有机溶剂分离等 2 个以上体系的验证性应用研究，稳定时间不低于 6 个月，溶胀率和膜性能衰减  $\leq 10\%$ 。

### 3.6 高性能非氟质子交换膜关键技术（共性关键技术类）

研究内容：围绕燃料电池、水系有机液流电池等对高性能非氟质子交换膜的性能要求，设计非氟质子交换膜用新型单体和分子结构，合成新型含苯基和氮杂环单体；研究杂环聚合物结构与性能的构效关系；开发高性能、长寿命、低成本非氟质子交换膜材料，实现非氟质子交换膜的批量化制备，并在燃料电池及水系有机液流电池中进行应用性验证。

考核指标：质子电导率  $\geq 0.1 \text{ S/cm}$ （25 °C, 100% 相对湿度），膜厚度  $\leq 30 \mu\text{m}$ ，强度  $\geq 45\text{MPa}$ ，溶胀率  $\leq 10\%$ ，在芬顿试剂中 80°C 下 3h 不破裂；非氟离子交换膜单条生产线产能达 2 万  $\text{m}^2/\text{年}$ ；应用于燃料电池功率密度  $\geq 1.0\text{W/cm}^2$ ，寿命突破  $\geq 3000\text{h}$ ；组装的水系有机液流电池在 60  $\text{mA/cm}^2$  运行条件下，单电池库伦

效率  $\geq 90\%$ 、能量效率  $\geq 80\%$ 、循环寿命  $\geq 1$  万次，完成千瓦级电堆的应用评价。

### **3.7 新型高效低成本拟均相催化剂及应用技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对石油烃催化裂解低碳烯烃收率低和废高分子材料催化降解回收成本高等问题，研究拟均相催化作用机制、调控规律及催化材料合成技术，开发新型高效拟均相催化材料宏量制备技术；开发基于拟均相催化材料的石油烃增产低碳烯烃关键工艺技术、废聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）高效催化降解回收利用等新技术，开展工程应用。

考核指标：实现 2~3 种尺寸 3~10 nm 的拟均相催化材料的稳定可控制备，催化材料在反应介质中的分散稳定性大于 3 个月，分散体固含量大于 20%，建成年产 5000kg（按固体计）的拟均相催化材料的规模化制备装置；拟均相催化材料在油中添加量小于 2500 ppm，低碳烯烃收率提高 2 个百分点以上，在十万吨级产能的石油制烯烃工业反应器上实现工业示范；废 PET 催化降解时间较传统金属盐催化剂缩短 1/3，催化剂用量减少 1/2，形成万吨级产能的废 PET 催化降解回收利用示范应用，稳定运行 2000h 以上。

### **3.8 典型污染物治理用催化剂及成套技术示范（应用示范类）**

研究内容：针对化工行业难降解废液、废气高效治理的应用需求，开发临氧催化裂解、高效催化燃烧、湿式催化氧化等超低排放型环境催化剂及成套工艺，研究污染物转化过程的强化技术

和多污染物协同催化机制；研究高净化效率、能源效率、资源利用率的催化—分离减排、有机物富集回收—高效催化燃烧、临氧裂解—催化氧化等耦合净化与过程强化技术及装备，开展工程应用示范。

考核指标：开发典型环境高效催化材料 3~5 种，建立千吨级环保催化剂生产装置 1 套。构建催化净化新技术及成套装备，运行温度 $<400^{\circ}\text{C}$ ，有机废弃物降解效率 $\geq 99.9\%$ ；催化燃烧反应热回收利用率 $\geq 50\%$ ；建立废气、废水、固废催化净化示范装置 2~3 套，稳定运行 1000h 以上，催化性能下降小于 10%；净化后尾气非甲烷总烃浓度 $\leq 120 \text{ mg/m}^3$ 、 $\text{NO}_x \leq 30 \text{ mg/m}^3$ ，净化后尾水化学需氧量 $\leq 50 \text{ mg/L}$ ，水回用率 $\geq 90\%$ ，净化气满足国家排放标准，回用水达到工业循环冷却水水质指标。

### 3.9 反应过程强化用结构化催化剂关键技术（应用示范类）

研究内容：针对绿色液相选择氧化、固体酸催化等重要化工生产反应过程强化传热、传质和突破反应平衡限制的需求，研制整体式结构化和微纳结构化催化剂及相应的反应工艺技术：发展整体式结构化催化剂用高强、高孔隙率、高导热性载体及其表面活性涂层的规模化制备技术；发展基于计算流体力学的整体式催化剂结构优化方法；开发微纳结构化催化剂孔结构和活性位的精细结构调控方法及规模化制备技术；开发催化剂结构化特征与反应特性相匹配的过程强化工艺并进行工业示范。

考核指标：整体式结构化催化剂载体的开孔孔隙率 $\geq 70\%$ 、

抗压强度 $\geq 10\text{MPa}$ 、导热系数 $\geq 10\text{W/m}\cdot\text{K}$ ，生产能力百吨级/年规模以上。面向绿色液相选择氧化、固体酸催化反应过程的结构化催化剂的生产能力百吨级/年规模以上。开发出3种以上基于上述结构化催化剂的化学品清洁生产新工艺，并完成千吨级以上规模的工业示范，稳定运行1000h以上。相比传统工艺，工业示范效果需至少满足以下指标中的两项：时空收率提高20%以上、节能20%以上、选择性提高10%以上、溶剂安全绿色化。

### 3.10 催化膜材料的设计制备及其应用（基础研究类）

研究内容：针对碳捕集利用、催化制氢等重要反应体系，研究催化膜表面特性及孔结构调控规律，设计催化剂与膜结合的新方式，研制具有加氢、氧化等功能的催化膜材料；构建以催化膜为核心的膜反应器，研究催化过程与膜分离过程系统集成关键问题；开发膜强化反应技术，开展典型反应体系的应用研究。

考核指标：发展4种以上催化膜表面特性及孔结构调控方法，制备出4种以上的催化膜，构建 $\text{CO}_2$ 高效转化制甲醇、甲醇重整制氢等2个以上催化膜反应器中试系统（进料速率大于 $10\text{L/h}$ ），催化膜面积大于 $0.1\text{m}^2$ ， $\text{CO}_2$ 转化率 $>40\%$ 、产物选择性 $>85\%$ ，甲醇转化率 $>80\%$ 、氢气选择性 $>98\%$ ，氢气纯度 $>99\%$ ，实现反应过程连续运行500h以上。

### 3.11 多功能催化剂的制备及应用（共性关键技术类）

研究内容：面向精细化学品清洁生产的需求，研究多功能催化剂结构与协同催化机理；研发以分子筛为主体的多金属活性中

心催化剂及应用技术，开发二羟基丙酮、甘油酸、丙酮酸等精细化学品的多相催化氧化技术；开发面向酯化产物的高性能催化剂及环氧化物的低温连续催化分级集成催化剂，开展应用评价。

考核指标：研发 2~3 种新型多功能催化剂，建立 2~3 种精细化工产品的多相催化氧化、酯化技术，建成仿酶空气环氧化中试装置（500 吨/年）和酯化中试装置（1000 吨/年），催化剂套用次数  $\geq 30$ ，原料转化率  $\geq 99\%$ ，目标产物选择性  $\geq 90\%$ ；开发出 2~3 种多活性位点空间可控分级集成技术，建成分级催化剂载体低成本固相制备中试装置（200 吨/年）。

#### 4. 机敏仿生超材料

##### 4.1 4D 打印可编程智能材料（共性关键技术类）

研究内容：面向工程领域可编程智能材料的几何结构和功能特性动态变化的应用需求，研制光、电、热、磁、湿度、pH 值等仿生 4D 打印感知—驱动—变形/变构/变功能等多功能融合可编程智能材料与器件，建立材料—工艺—结构—激励多空间仿生 4D 打印编程编译方法，开发仿生 4D 打印高精度感知与驱动、多模态运动可调控等一体化材料制造关键技术。

考核指标：建立不少于 5 种仿生 4D 打印变形/变构/变功能等智能材料可编程工艺，开发 8~10 种 4D 打印智能材料，实现光、电、热、磁、湿度、pH 值等环境自动感知和驱动，在光驱动下变形量不小于 50%，非恒定变形率从 0%~100%连续可调，实现负重自重 20 倍以上不少于 3 种模式的变形控制，变形回复率  $\geq 98\%$ ，

变形响应时间 $\leq 20\text{s}$ ，变形速率 $\geq 0.05\text{m/s}$ ，实现在飞行器变体关键部件中的应用。

#### 4.2 弹性应变传感材料（共性关键技术类）

研究内容：针对数字化健康医疗产业中运动和生理参数监控对人体兼容的传感材料的迫切需求，研究弹性体、室温液态金属、导电纳米材料及磁性纳米材料等的复合方法及其对力学性能、导电性、磁性及拉伸稳定性等的影响规律，开发高电导、高弹性、强回复导电材料，发展高弹性拉伸应变传感材料及抗拉伸干扰的压应变传感材料，发展弹性导电/铁磁复合材料、应变传感材料与弹性布料一体化集成及批量制备技术，制备出布基弹性应变传感器并在人体运动健康监控中获得应用。

考核指标：弹性导电材料电导率 $\geq 1000\text{ S/cm}$ ，拉伸率 $\geq 100\%$ ，扭转 $360$ 度电阻变化小于 $10\%$ ，回复率优于 $99\%$ ；布基弹性压力传感器分辨率优于 $1\text{ N}$ ， $100\%$ 拉伸应变电输出变化小于 $10\%$ ；布基弹性拉伸应变传感器拉伸范围大于 $100\%$ ，分辨率优于 $0.01\%$ ，线性度优于 $0.998$ ，拉伸疲劳大于 $100$ 万次，可水洗次数大于 $100$ 次并实现规模化量产，年产能大于 $100$ 万条；相关传感器应用于智能穿戴设备，实现对人体运动姿态、呼吸/心跳等的精准监测。

#### 4.3 元素浓缩和能量转换用仿生材料（共性关键技术类）

研究内容：面向海水提取锂、铀等元素及盐差发电技术的需求，发展元素浓缩与能量转换用仿生材料，开发基于仿生微纳孔

膜材料的离子筛分与富集材料实现海水中资源元素浓缩，研究基于生物离子通道能量转换机制的膜材料及仿生结构能量转换器件集成技术。

考核指标：开发不少于 4 种元素浓缩用高性能仿生材料，用于锂离子初始浓度不高于 10 ppm 的模拟海水提锂时锂吸附量达到 20 mg/g，循环使用寿命不少于 10 次；海水提铀吸附容量达到 20 mg/g，循环使用寿命不少于 20 次；在我国近海海域实现十公斤级吸附材料一年实验周期内铀提取量不少于百克量级；开发不少于 3 种仿生微纳孔膜材料，离子选择性不低于 0.9，盐差发电转换效率不低于 40%，转换器件功率密度不小于 10 W/m<sup>2</sup>。

#### 4.4 基于电磁模态耦合的新型光电功能超材料（共性关键技术类）

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 0.3~5.0THz，二阶非线性极化率高于 5 nm/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 2 种不同自旋态的表面波的传播并具有区分 2 种自旋态的能力，损耗低于 3dB/10 $\mu$ m。

#### 4.5 吸能隔振超材料的构筑（共性关键技术类）

研究内容：面向轨道交通、精密制造等领域对振动控制和碰撞吸能的需求，开发吸能隔振超材料：探索建立在地面环境以及零重力或微重力环境下的全频段隔振体系；开展复合结构逆向设计，建立吸能隔振超材料结构功能智能化构筑的策略，发展吸能隔振超材料的自组织、3D 打印等制造技术；开展吸能隔振超材料在复杂环境中的实验验证。

考核指标：形成吸能隔振超材料结构与功能智能化构筑的理论与方法，开发 3~4 种分别在地面环境及零/微重力环境下具有全频段吸能隔振功能的超材料，在地面和模拟空天环境下隔振起始频率  $\leq 0.1\text{Hz}$ ，绝对零刚度人工复合超材料在 0.1Hz~5000Hz 的振动频率范围内振动传输  $\leq -20\text{dB}$ ；吸能超材料比吸能率 1~80 mJ/mm<sup>2</sup> 可调，阻尼因子 0.2~0.6 可调。

#### 4.6 无线通信中继用信息超材料及其器件开发（共性关键技术类）

研究内容：针对无线通讯系统大流量、低时延通信中快速协同的需求，研究信息超材料对空间电磁波的散射机理和波束赋形方法，探索信息超材料与环境的一体化建模及仿真技术，建立统一的信道模型和设计理论，研究信息超材料单元的快速、智能设计技术与优化技术，实现可编程方式调控电磁波的传统特性，探

索信息超材料对无线信号的调制机理，实现信息超材料对空间电磁波的散射机理和波束赋形方法，完成信息超构材在无线通信中继系统中的应用验证。

考核指标：基于信息超材料的无线通信中继系统样机单元规模大于 4000 个且材料单元可独立控制，单元调相范围大于等于 300 度，调制时间小于 500ns，信息超材料在 Ka 波段水平方位角覆盖 -60~60 度，无线链路用户端接收信噪比提高 10dB 以上。

#### 4.7 超材料微结构制造技术的开发及应用（共性关键技术类）

研究内容：面向高端装备、新一代信息技术对宽频带透波、吸波及功能相互切换的重大需求，开发透/吸波频段可调的超材料微结构制造技术，发展大面积曲面超材料薄膜制备工艺，研发可调控电磁波频段选择性透/吸波超材料薄膜和智能化驱动控制组件，实现可按需动态重构的超材料透明窗口。

考核指标：掌握基材厚度  $\leq 25\mu\text{m}$ 、幅面  $\geq 0.5$  平方米的柔性无拼接超材料微结构制造技术；实现谐振频率 9~11GHz，谐振频率偏差/中心谐振频率  $\leq \pm 0.5\%$ ，晶格尺寸  $\leq$  中心波长的 1/20，线宽/线距  $\leq$  中心波长 1/1000 的超材料微结构批量生产；工作频带范围 2~18GHz、带宽  $\geq 500\text{MHz}$  的可调谐超材料透波状态下透波系数  $\geq 0.90$ 、吸波状态下吸波系数  $\geq 0.80$ 、透/吸等功能切换频率捷变响应灵敏度  $\leq 1\mu\text{s}$ 。

### 5. 特种与前沿功能材料

### 5.1 苛刻服役条件下航天器用特种无机热控涂层（共性关键技术类）

研究内容：针对低轨及深空探测航天器面临的原子氧、在轨分子污染、光污染、粒子辐照及温度交变等极端苛刻服役条件，开发抗原子氧和抗辐照加固热控涂层、分子吸附热控涂层、超黑高吸收热控涂层、吸辐比智能调控热控涂层、低吸收—低发射热控涂层等特种无机热控涂层；发展组分—工艺—结构—性能交互关联的涂层材料设计新方法与控制制备技术；开展服役环境多因素耦合作用下，涂层性能评价、服役行为与失效机制研究，评估涂层服役稳定性与可靠性，实现新型特种无机热控涂层典型示范应用。

考核指标：阐明服役环境多因素耦合作用下，特种无机热控涂层的服役行为与失效机制；抗原子氧和抗辐照加固热控涂层使用寿命 $\geq 15$ 年；分子吸附热控涂层真空污染物吸附量 $\geq 6$ 毫克/平方厘米（ $\text{mg}/\text{cm}^2$ ）；超黑高吸收热控涂层宽波段（250~2500nm）太阳吸收比 $\geq 0.99$ ；智能热控涂层 $-20^\circ\text{C}\sim+20^\circ\text{C}$ 发射率调控范围 $\geq 0.30$ ；低吸收—低发射热控涂层太阳吸收比 $\leq 0.20$ ，半球发射率 $\leq 0.20$ 。发展4种以上特种无机热控涂层材料，典型涂层在2个以上重大型号航天器上获得示范应用。

### 5.2 环境适应性水性涂料及可复涂长效低表面能涂料（共性关键技术类）

研究内容：针对建筑等民生行业在涂料制造、使用和修复全流程对低碳环保技术的广泛需求，研究涂料在水性化、可复涂、

耐老化方面的基础科学问题、关键材料和技术。设计和制备亲水—亲油转换材料、有机无机杂化材料、界面渗透材料，调控涂料的组成—结构—界面，提升涂料的寿命和防污效果。构筑涂料环保制造、低碳应用、便捷修复等特色。

考核指标：针对水性涂料提出涂料亲水—疏水转换新机制，挥发性有机化合物（VOC） $\leq 15\text{g/L}$ 、紫外老化时间 $\geq 2500\text{h}$ 、黄变值 $\Delta E \leq 10$ 、防霉菌性能 $\leq 1$ 级、耐温变循环性 $\geq 15$ 次、耐水性 $\geq 200\text{h}$ ；针对可复涂涂料提出界面渗透融合新理论，与老旧涂层的附着力 $\geq 10\text{MPa}$ 、紫外老化时间 $\geq 2500\text{h}$ 、接触角 $\geq 120^\circ$ 、涂装间隔 $\geq 1$ 年。

### 5.3 憎水抗渗型相变蓄能防火保温隔热材料（应用示范类）

研究内容：针对新建工程、既有建筑改造节能减排对高性能相变蓄能材料的广泛需求，研究新型绿色相变储能材料制备原理及在建筑围护结构中应用关键技术：设计和制备相变温度适宜、导热系数高、防火的高性能相变蓄能材料；开展相变材料宏观、微观封装界面调控，提升能量密度及耐久性；突破大容量相变材料载体关键技术，构筑高效节能、憎水抗渗、隔热保温的相变蓄能围护结构材料体系。

考核指标：绿色相变材料变温范围： $18\sim 32^\circ\text{C}$ ，导热系数 $>0.5\text{W/mK}$ ，不燃；经封装及调控后，相变蓄能材料能量密度比普通石蜡类提高20%以上，经过500个相变循环后，相变蓄能能力下降不超过10%；相变骨料代替传统骨料取代率 $>50\%$ ，相

变混凝土初始表面吸水率降低 50%以上；相变混凝土用于围护结构材料，燃烧性能符合 A 级标准，耐火极限不低于 1.5 小时；用于围护结构材料，在工程中进行示范应用，建筑面积不低于 6000m<sup>2</sup>。

#### **5.4 面向晶圆级封装的光敏聚酰亚胺材料(共性关键技术类)**

研究内容：针对我国集成电路制造技术发展对实现关键材料自主可控的迫切需求，研究光敏聚酰亚胺（PSPI）材料前驱体树脂的结构与综合性能关系、感光助剂配方体系设计与作用机理、材料在制程场景中的服役行为和失效机制，开发出应用于半导体先进封装制程的 PSPI 材料，开展应用迭代。

考核指标：完成 PSPI 材料的原型配方开发和中试工艺开发，实现单批次不小于 50Kg 的规模化量产。通过客户端产线的晶圆级先进封装制程验证并形成批量销售。产品具体参数如下：固化温度 < 260°C，杨氏模量 > 3.2GPa，断裂应力 > 130 MPa，断裂伸长率 > 40%，T<sub>g</sub> > 240°C，5% 热分解温度 > 350°C，热膨胀系数：20~70ppm，光刻精度 ≤ 5μm/5μm（线宽/线距，深宽比 ≥ 1，曝光能量 200~400mJ/cm<sup>2</sup>）。

#### **5.5 芯片基板用高效精密微钻材料研发与应用(应用示范类)**

研究内容：围绕 5G/6G、人工智能、物联网用关键装备对长寿命、高精度、微细化钻削工具的迫切需求，研究高纯低烧结敏感性纳米碳化钨（WC）粉末、低缺陷密度超细晶硬质合金及细径复杂结构纳米金刚石涂层材料的制备技术，揭示碳热反应过程

中粉末相变机制及微观组织演变规律、超细晶硬质合金烧结致密化和晶粒长大抑制机理，突破高品质纳米 WC 粉末、高精密微钻材料的可控制备和批量一致性等关键技术，开发面向芯片基板的极小径、大长径比及高耐磨微钻材料并实现示范应用。

考核指标：WC 粉末（无抑制剂）：纯度  $\geq 99.96\%$ ，BET 比表面积  $\geq 3.8\text{m}^2/\text{g}$ ，平均粒度  $\leq 100\text{nm}$ 。硬质合金：平均晶粒度  $\leq 0.2\mu\text{m}$ ，抗弯强度  $\geq 5500\text{MPa}$ ，维氏硬度  $\geq 2100\text{HV}10$ （10 公斤载荷下的维氏硬度），杨氏模量  $\geq 600\text{GPa}$ ，断裂韧性  $\geq 9.5\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 。微钻：极小径微钻直径  $\leq 75\mu\text{m}$ ，加工 CSP 芯片基板，钻孔效率  $\geq 600$  孔/min、孔限 5000 下断针率  $\leq 1\%$ ；大长径比微钻长径比  $\geq 22$ ，直径  $\leq 0.15\text{mm}$ ，加工 BGA 芯片基板，寿命  $\geq 5000$  孔；高耐磨微钻最小直径  $0.12\text{mm}$ ，表面涂层硬度  $\geq 70\text{GPa}$ ，加工陶瓷填充芯片基板，寿命  $\geq 100000$  孔。形成 2000 万支/年芯片基板微钻的生产能力。

## 5.6 烯烃/烷烃吸附分离材料及应用基础（基础研究类）

研究内容：面向烯烃/烷烃分离的重大需求，针对优先吸附烯烃和优先吸附烷烃体系，发展吸附剂结构与活性位点调控新方法，设计开发基于分子筛、金属有机框架和一价铜基络合材料等的高性能吸附剂，同时提高吸附容量和选择性；探索吸附活性位稳定机制，实现温和条件下活性位点的构建和吸附剂稳定性的大幅提升；研究液态烯烃/烷烃专用吸附分离材料，建立吸附剂高通量筛选平台，开发聚合级烯烃绿色低碳吸附分离前沿技术。

考核指标：发展 4 种以上新型吸附材料，其中优先吸附烯烃和烷烃的材料各不少于 2 种；对于优先吸附烯烃的材料，常温常压下吸附容量  $\geq 2.5 \text{ mmol/g}$ ，烯烃/烷烃选择性  $\geq 10$ ；对于优先吸附烷烃的材料，常温常压下吸附容量  $\geq 3 \text{ mmol/g}$ ，烷烃/烯烃选择性  $\geq 6$ ；吸附剂中一价铜络合活性位的形成温度  $\leq 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ，空气中稳定性超过半年；开发聚合级烯烃连续化吸附分离技术及装置（烯烃纯度  $\geq 99.5\%$ ，收率  $\geq 98.0\%$ ）。

### 5.7 高功率射频微波用聚四氟乙烯及其复合材料（共性关键技术类）

研究内容：针对自动驾驶等人工智能领域对高频、高速通讯工况下高功率射频微波用聚四氟乙烯及其复合材料的迫切需求，研究四氟乙烯单体纯化、共聚组成等聚合关键因素以及低杂质含量的控制技术；研究填料结构设计、表面处理技术及界面调控方法；研究填料改性聚四氟乙烯及其覆铜板复合材料成型中聚集态结构演变、加工流变性和稳定性。

考核指标：聚四氟乙烯树脂金属离子溶出（单种） $\leq 10\text{ppb}$ ，介电损耗（10GHz） $\leq 0.0008$ ，与铜箔剥离强度  $\geq 2.0 \text{ N/mm}$ 。聚四氟乙烯覆铜板复合材料：介电常数  $D_k(10\text{GHz}) 3.50\pm 0.04$ ；介电损耗  $D_f(10\text{GHz}) \leq 0.0012$ ；热导率（80 $^\circ\text{C}$ ） $\geq 1.50\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ；X/Y/Z 轴 CTE（-55~288 $^\circ\text{C}$ ） $\leq 20, 20, 40\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ；与铜箔剥离强度  $\geq 1.5\text{N/mm}$ 。

### 5.8 核聚变用氚处理材料及轻量化结构/功能一体化屏蔽材

## 料（共性关键技术类）

研究内容：针对核聚变等新型核能技术对相关材料在特殊和极端条件下的服役需求，阐明氘处理材料间隙碳杂质与氢同位素的反应规律和材料中氦的扩散行为与驻留机制，突破超低碳含量氘处理材料制备及应用技术，设计制备具有优异储氘固氦性能的氘处理材料；探索轻质抗辐照金属基复合屏蔽材料组元体系核射线作用机制、辐照效应及材料强化效应的内在关联性，建立材料组分、性能和制备工艺参数的协同调控方法，掌握高屏蔽组元含量金属基复合材料制备技术，发展新一代轻量化功能/结构一体化屏蔽材料。

考核指标：提出氘处理材料间隙碳杂质与氢同位素的反应规律和氦扩散驻留新机制，材料室温（25℃）下吸氢容量 $\geq 200\text{ml/g}$ ，碳含量 $\leq 20\mu\text{g/g}$ ，解析氢中的甲烷含量 $\leq 10\mu\text{g/g}$ ，材料储氘2年后氦释放率 $\leq 1\%$ ，储氘容量保持率 $\geq 80\%$ ；研制的金属基复合屏蔽材料密度 $\leq 3\text{g/cm}^3$ ，对 $^{252}\text{Cf}$ 源中子的注量衰减比 $\geq 1.5$ （厚度 $\leq 25\text{mm}$ ），热中子吸收率 $\geq 99.9\%$ （厚度 $\leq 10\text{mm}$ ），对 $\gamma$ 射线（ $^{60}\text{Co}$ ）的线性减弱系数 $\geq 0.12\text{cm}^{-1}$ ，抗弯强度 $\geq 200\text{MPa}$ ，材料通过入堆辐照考核。

## 5.9 导电/吸波多功能杂化聚合物纤维材料关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对重大工程对宽频带吸波材料和多功能导电纤维的巨大需求，开发具有柔性、轻质、耐水洗、可编织的新型导

电、吸波杂化纤维，攻克杂化纤维纺丝成形与结构调控技术；完成纺丝工艺连续化工业生产验证，获得具有优异导电、吸波功能的杂化纤维产品；明确纤维纺丝过程控制、功能粒子分散性对杂化纤维相界面和凝聚态结构的影响机制，建立杂化纤维成形、功能粒子分散性与导电性调控、吸波阻尼匹配间的构效关系。

考核指标：提出杂化纤维导电微网络构建和材料相界面结构、功能粒子分散性和聚集态结构的调控新机制；杂化纤维轴向电导率  $\geq 20$  S/m，工业洗涤 100 次后，电导率保持  $>90\%$ ；力学强度  $\geq 2.8$  厘牛/分特 (cN/dtex)，断裂伸长率  $>10\%$ ；纤维抗日晒和耐磨性能满足国标优等品指标，日晒 1000 h，强度损失  $<20\%$ ，339 g/m<sup>2</sup> 以上的织物耐磨性能测试  $\geq 25000$  次；在 2~18 GHz 频率范围织物的最强吸波强度  $\leq -40$  dB，有效吸收宽度  $\geq 10$  GHz；建立百吨级杂化功能纤维连续化生产示范线，开发 3~5 种相关杂化纤维新产品。

## 6. 材料基因工程应用技术

### 6.1 基于人工智能的新能源材料跨尺度高效计算方法开发与应用（基础研究类）

研究内容：针对高性能锂电池及新型光催化、光电、光热气转换等材料跨尺度计算模型缺乏的问题，发展基于机器学习的原子间相互作用势，建立从微观到介观的跨尺度计算模型；基于人工智能、图像识别及深度学习，开发从电子到介观尺度材料的局域动态交互迭代的跨尺度电子结构计算方法与软件平台；研究多

晶、裂纹、缺陷等复杂介观结构对原子、电子输运行为的影响机制，建立从介观结构到宏观性质的高通量计算模型，并在光催化、光电、光热气转换和电极等材料上应用和推广。

考核指标：1 个具有局域动态交互迭代的跨尺度和预测能力的“材料的结构—准粒子能带”机器学习预测模型，预期预测精度达到 90%及以上；1 套基于密度泛函理论（DFT）及多体 GW 方法的精确的半导体材料准粒子能量数据库（涵盖 10000 个 DFT 计算及 1000 个 GW 计算）；1 种可应用于原子尺度分子动力学模拟的基于机器学习的原子间相互作用势；1 套光催化材料和电极材料预测相关的机器学习软件，预测精度大于 95%，获得光催化材料数据库和电极材料数据库，材料种类不少于 15000 种；预测 3~5 种热力学和动力学稳定的、实验易合成的新型光催化、光电、光热气转换和电极等材料并开展实验验证。

## 6.2 基于组合医疗原理的新型介入心脏瓣膜材料和器件研究（应用示范类）

研究内容：面对人工心脏瓣膜临床需求日益增加的现状，开展基于蛋白质仿生材料数据的聚类分析和数据挖掘，建立针对心脏瓣膜的多肽和类肽数据库和机器学习模型，实现抗钙化、内皮细胞竞争性生长及组织再生诱导界面设计的理性指导；研发高通量材料组合芯片制造装备，实现材料芯片和基于细胞图像机器学习的生物评价技术的联动，开发新型介入心脏瓣膜材料、涂层及器件。

考核指标：不少于 2 种基于细胞图像机器学习的高通量细胞分析软件，预测准确度超过 90%；涂层材料的组合种类和组合密度的高效筛选的装置，单芯片验证组合种类不少于 100 种；制备至少 1 种以上具有组织再生功能的人工心脏瓣膜材料，实现抗拉伸力  $\geq 30$  牛顿，伸长率  $\leq 40\%$ ，近生理加速实验的疲劳寿命  $\geq 2 \times 10^8$  次，抗钙化效果和原位内皮化效果提高 50% 以上，并完成动物实验。

### 6.3 信息功能陶瓷材料高通量制备及表征技术研究（应用示范类）

研究内容：围绕信息功能陶瓷材料基因工程研发范式发展的需求，针对高可靠电容器介质、高温压电陶瓷等信息功能陶瓷材料，开展基于高通量方法的材料设计、成型、烧结技术研究，建立功能陶瓷材料高通量制备平台，发展宽温区介电常数、介电损耗、阻抗等电功能高通量测试技术；发展高温压电、介电、铁电、热释电、电导等多功能参数并行高通量测试技术，建立多参数并行高通量测试平台。

考核指标：块体陶瓷材料样品库高通量制备平台每批次同时实现  $\geq 128$  个功能陶瓷样品的高效制备，粉体样品库单元容积  $\geq 3$  ml，样品混合适配器体积  $\leq 0.05$  m<sup>3</sup>；宽温区宽频介电性能高通量测试平台，测试温度范围  $-50^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$ ，测试频率  $1 \sim 10^8$  Hz；高温多参数电性能高通量测试平台并行测试电性能参数  $\geq 7$  个，测试温度范围室温  $\sim 700^\circ\text{C}$ ，压电系数  $d_{33}$  测量范围  $0 \sim 2000$  pC/N，电阻

率测量范围  $10^5\sim 10^{14}\Omega\cdot\text{cm}$ ，谐振/反谐振频率范围 20 Hz ~ 20 MHz；利用高通量平台探索筛选材料配方>5000 个，开发出 3 种以上高性能功能陶瓷材料。

#### **6.4 数据驱动的能源材料高效开发与应用（应用示范类）**

研究内容：针对提高能源材料研发效率的需求，发展面向储能、光电能源转换材料的高效设计、制备、评价及应用技术；通过数据驱动方法，研究跨空间尺度的成分、组织与结构变化与跨时间和温度尺度的物相变化的高通量制备技术，研发能源材料成分—组织—结构—性能关联性的快速表征技术和相应的高通量实验装置，开展在典型能源材料的成分设计与工艺流程优化中的应用验证。

考核指标：研发出 2~3 种能源材料高通量制备装置，制备能力达到 100 样品/批次以上（化学法），单元空间样品密度>100 个/ $\text{mm}^2$ （物理法）；与传统固相烧结法比较，加工速度提高倍数或费用降低倍数比值 $\geq 10$ ；研发出 2~3 台（套）能源材料快速表征装置，实现 $\geq 6$  通道并行或<1 分钟逐点扫描测试，表征能力达到 100 数据点/批次以上，表征效率提高 90%以上；开发出 2~3 种新型能源材料。

#### **6.5 基于材料基因工程技术的多铁性材料的性能调控（共性关键技术类）**

研究内容：针对存算一体化和人工智能高端计算硬件材料的未来需求，面向多铁性磁电互斥的学科前沿重大挑战，利用材料

高通量计算和筛选技术，探索多铁性序参量从相互排斥到相互融合的方案；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，揭示由此诱发多铁性的新原理，并发现新材料；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；实现  $10^3$  级并发式高通量计算；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；设计出具有拓扑磁电畴的  $10 \times 10$  以上纳米点阵列结构；构筑超低功耗 ( $<0.01$  pJ/bit)、快速处理 ( $<10$  ns) 的多态、非易失、存算一体新原型器件。

## 6.6 组织再生用仿生多相材料/细胞复合体系研发（共性关键技术类）

研究内容：针对骨—软骨、骨—肌腱、皮肤等复杂多层次组织的修复难题，利用机器学习与高通量制备技术，研究用于复杂组织再生的多相材料/细胞体系的组成、结构和拓扑形貌，阐明多种不同组织细胞的化学信号、结构信号和微力学信号的传递规律；开发多组分材料与多细胞的仿生结构组织工程支架的高通量制备技术，研究多相材料/细胞体系中多种材料对多细胞的分布、增殖、

分化的影响规律；研究多相材料/细胞体系与复杂组织再生关联评价的机器学习方法，开展大动物体内评价。

考核指标：实现>100 级的并发式高通量动态模拟计算；研发出具有 2 种以上仿生组织工程材料，每种材料具有至少 2 种组织相容性功能；细胞的存活率  $\geq 80\%$ 、存活时间  $\geq 14$  天，完成在骨—软骨、骨—肌腱、皮肤等复杂组织修复中的临床前研究，大动物体内植入后 12 周新组织生成率  $\geq 30\%$ 、26 周新组织生成率  $\geq 60\%$ ，形成一个仿生结构组织工程材料的数据分析平台。

### 6.7 基于材料基因工程的全固态电池关键材料的设计、制备与应用（共性关键技术类）

研究内容：针对全固态电池在高寒环境下能量大幅下降和性能快速衰减问题，利用材料基因工程方法，设计全固态电池用高性能固体电解质、高容量正极材料；基于大数据分析的人工智能方法，优化体相掺杂、界面结构；发展高能量密度、高安全性、高倍率特性的固体电解质、隔膜材料、高容量正、负极材料及界面调控技术，研究全固态电池电芯的制造技术，并开展高寒环境中的应用验证和优化。

考核指标：形成融合机器学习的高通量计算方法，并发计算能力达到  $10^3$  级，开发 3 种以上新电解质与电极材料，固态电解质膜面电阻小于  $5 \Omega \text{ cm}^{-2}$ ，厚度小于  $20 \mu\text{m}$ ，电化学窗口大于 4.5 伏，机械强度满足全固态电芯批量化制备条件；高稳定型正极材料比容量  $\geq 215 \text{ mAh/g}$ ，可逆循环 1000 次后容量保持率  $\geq 80\%$ ；

高容量型负极材料单体比容量  $\geq 1400$  mAh/g，复合负极材料比容量  $\geq 600$  mAh/g，可逆循环 1000 次后容量保持率  $\geq 80\%$ ；构筑的 10Ah 级以上全固态锂电池电芯能量密度  $\geq 350$  Wh/kg，1C 下可稳定循环 1000 次以上， $-40^{\circ}\text{C}$  电芯容量保持率  $\geq 50\%$ ，电芯安全性满足国标要求。

## 7. 青年科学家项目

### 7.1 新型低成本高效电池体系及关键材料

研究内容：面向二次电池高性能化发展需求，研究变革型电池体系的基础科学问题，设计和制备基于丰度元素的新型电池关键材料，探索电化学储能新机制，构筑高安全低成本二次电池新体系，实现电池关键性能指标的突破。

考核指标：提出新体系低成本二次电池设计新思路 and 电化学性能调控新机制；开发出 1~2 种电池新体系及其关键材料，1C 倍率（1 小时）充放电能量效率大于 80%，单体容量  $\geq 5$  安时，能量密度和循环寿命等性能在储能领域具有实用价值。

### 7.2 高温度和时间稳定性强耦合金属永磁材料开发

研究内容：针对高精度惯性仪表对永磁材料磁稳定性的技术需求，开发高磁能积、低温度系数、长时间稳定的金属永磁材料，研究化学组成、定向凝固工艺与磁场热处理制度对材料组织结构、物相演变的影响规律，探究柱晶结构、磁性析出相和基体相磁特性、两相界面特性和双相耦合作用对磁性能及稳定性的影响机理，研究磁性能与磁畴结构随时间的演变规律，揭示永磁材料磁性时

间稳定性影响的物理机制，开发具有新型纳米调幅结构金属永磁材料的磁稳定性调控技术及其高稳定性金属永磁材料产品。

考核指标：强耦合永磁材料的室温条件下磁能积不低于 14 MGOe (兆高·奥)，材料的时间稳定性要优于 10 ppm/半年，材料的温度稳定性在-40~70°C的温度区间要优于-0.005 %/°C。

### 7.3 智能仿生水凝胶组织工程支架

研究内容：面向长距离周围神经损伤修复需求，研究基于透明质酸、丝素蛋白的互穿网络智能仿生水凝胶材料，及动态配位、生物标志物响应的智能交联技术，模拟神经组织细胞外基质的物理、生化特性和神经组织再生微环境，调控神经元、施万细胞的功能；研究上述水凝胶对生物活性物质的控制释放，及促进神经组织的再生与功能重建的功效。

考核指标：获得不少于 3~4 种基于透明质酸与丝素蛋白的互穿网络智能水凝胶材料，压缩模量在 0.1~10 kPa 区间（匹配天然细胞外基质的压缩模量）内可控调节，并同时实现不少于 2 种生物活性物质（包括镁离子、细胞因子、小分子药物、核酸等）按组织修复过程，即控制局部炎症与构建再生微环境（第 1 周）—促进神经轴突生长（第 2~8 周）—促进髓鞘生成（第 3~8 周）的顺序有序递送；利用水凝胶分别包埋神经元、施万细胞，体外培养 24h 后，神经元突起平均不少于 2 条且长度不少于 50  $\mu\text{m}$ ，施万细胞活力不低于 90%，再生相关细胞因子的表达上调 50% 以上；大鼠坐骨神经缺损 (>1 cm) 模型中，水凝胶植入 12 周后坐骨神

经功能指数 (SFI) 大于-60。

#### **7.4 生物膜医用材料**

研究内容：面向炎症、肿瘤、自身免疫性疾病的治疗需求，建立细胞来源生物膜改性的基因工程、表面工程等技术，研究具有淋巴组织靶向功能及细胞来源的磷脂双分子生物膜医用材料，发展生物膜医用材料分离、纯化和药物装载技术，实现对免疫细胞功能的调控和疾病免疫治疗效果的提升。

考核指标：获得 5 种以上用于炎症、肿瘤、自身免疫性疾病的细胞来源生物膜医用材料，包括 2~3 种基因工程和 2~3 种细胞膜表面工程改性的生物膜医用材料，胞内蛋白占总蛋白比例小于 5%；建立淋巴结靶向的磷脂双分子生物膜医用材料分离、纯化技术；获得生物膜材料的高效药物装载技术，药物负载效率>95%，药物含量>5%；实现 2 种及以上生物膜来源的医用材料规模化制备技术，单次提取规模大于 100 mg；实现对淋巴组织高效靶向和免疫调节作用，药物富集和周围组织相比提高 100 倍以上。

#### **7.5 用于分子诊疗的可编程性生物框架材料**

研究内容：面向遗传性疾病、恶性肿瘤的诊断和治疗需求，发展框架核酸材料的可编程性自组装技术，研究能识别疾病的基因生物标志物的框架核酸材料，并构建基因探针和药物递送载体，实现对疾病标志物超长基因片段多态性的特异性、高精度诊疗。

考核指标：获得 10 种以上基于框架核酸材料的基因探针，基因探针直径小于 100 nm，对长度大于 5 万个碱基的基因片段识

别位点多于 4 个；实现基因探针对遗传性疾病、恶性肿瘤的基因标志物的特异性、高精度诊断，识别特异性>95%（可区分 1 个错配碱基），分辨率<25 nm（可识别间距 80 个碱基以下的相邻基因位点），诊断准确率>90%；获得 3~5 种基于框架核酸材料的药物递送载体，药物负载效率>95%，完成动物水平疗效评价。

### 7.6 封装干细胞的生物材料及涂层

研究内容：面向心肌等组织损伤修复中移植干细胞的免疫排斥及存活率低的难题，研究基于海藻酸钠、透明质酸等天然高分子的微纳尺度生物材料及涂层，发展封装间充质干细胞的原位涂层技术；研究材料及涂层对干细胞移植微环境的免疫调控机制，及提高移植干细胞存活及功能的功效，提高心肌组织再生与功能重建的功效。

考核指标：获得 3~5 种基于海藻酸钠、透明质酸等天然高分子的免疫保护性水凝胶涂层，建立封装间充质干细胞的原位涂层技术，涂层厚度在 400 nm~1  $\mu\text{m}$  区间内可调，机械强度在 1~20 kPa 可调；涂层对间充质干细胞的单细胞封装效率>90%，封装后干细胞存活率>90%，屏蔽免疫细胞识别的效率>70%，实现间充质干细胞所分泌的细胞因子有效扩散；大鼠、猪心肌组织损伤模型上，植入 3 天后干细胞凋亡率<10%，植入 4 周后射血分数>60%。

### 7.7 高纯气体分离的无机膜材料

研究内容：面向高纯气体分离对高性能无机膜材料的需求，研究具有有限域效应无机膜的微纳结构形成机理及传质特性，开发

膜材料合成新路线及低成本批量化制备技术，设计气体传质通道可精确调控的新型多通道中空纤维膜，开发高纯气体分离用高装填密度无机膜组件及气体分离装置。

考核指标：开发 2 种以上在水汽条件下具有高稳定性的无机膜材料；组件装填密度大于  $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ，分离气体的纯度  $>4\text{N}$ ，气体渗透速率大于  $100\text{GPU}$ 。

### 7.8 高稳定均相离子交换膜的设计与制备

研究内容：针对高温、高酸、高碱或强氧化性等苛刻环境对高稳定性离子交换膜的需求，探索高稳定性均相离子交换膜的制备技术和新机制、新理论，研究聚合物分子结构与调控、均相离子交换膜微观结构的可控构筑规律和传质机制，研究均相离子交换膜微观结构与宏观性能的构效关系，开发原创性的均相离子交换膜材料制备技术。

考核指标：提出 2 种高稳定性均相离子交换膜的构筑新策略，发展 2 种高稳定性均相离子交换膜材料，形成中试规模连续化制备能力，膜片宽幅  $\geq 40 \text{ cm}$ ，耐高温性能、阻氢离子性能、耐碱性能、抗氧化性能等主要性能指标超过同期国际商用产品。

### 7.9 量子信息超材料前沿探索

研究内容：研究超材料实现相位拓扑的机理，开发超材料全相位调控技术；研究非厄米系统拓扑超材料对光场的调控方法；研究拓扑超材料在奇异点处的简并态对光学偏振的控制；发展基于超材料全息技术的信息加密与编码技术。

考核指标：开发 2~3 种变革性拓扑超材料，提出拓扑超材料的全相位调控新理论新技术，形成拓扑超材料应用范例；开发 2~3 种超材料全息加密技术，实现幅度、偏振、波长、角动量 4 种光学自由度加密，大容量超构表面全息加密存储等效单一像素尺寸小于光学衍射极限，分辨率  $\geq 100000$  点/英寸。

### 7.10 超宽温域超弹性应变玻璃记忆合金研究

研究内容：针对国家深空探测领域对宽温域超弹性记忆合金的需求，探索应变玻璃及应变玻璃转变新物理机制，研究合金材料的缺陷掺杂—应变玻璃转变—力学性能的关系，研发在超宽温度区间具有超弹性及良好力学性能的记忆合金材料，发展应变玻璃记忆合金制备和加工技术。

考核指标：设计并研发出 2~3 种钛镍基和镁基的应变玻璃记忆合金材料，在  $-196^{\circ}\text{C}\sim+100^{\circ}\text{C}$  的超宽温域弹性应变  $\geq 5\%$ 。