

## 附件 4

# 国家重点研发计划 “工程科学与综合交叉”重点专项 2025 年度第二批项目申报指南

2025 年度第二批指南围绕空间科学、极端制造、信息、可再生能源、医工等 5 个重点领域进行部署，拟支持项目 9 项，安排国拨经费总概算 1.8 亿元。同一指南方向下只支持 1 项。

申报单位根据指南支持方向，面向解决重大科学问题和突破关键技术进行设计。项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部内容。项目执行期一般为 5 年。一般项目下设课题数原则上不超过 4 个，每个项目所含单位总数不超过 6 家。项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

## 1. 哺乳动物空间生命繁育体系构建

**研究内容：**面向未来长期空间任务中哺乳动物生存和繁育的科学需求，通过生命科学与工程科学等多学科交叉，搭建空间哺乳动物（包括灵长类）生殖细胞研究平台，探索空间环境对哺乳动物配子质量维持及功能的影响；建立空间适配的哺乳动物早期胚胎发育研究技术，揭示空间环境对胚胎早期发育的影响并评估其发育潜能；初步搭建哺乳动物在轨生育技术体系，研究空间妊娠维持与分娩关键事件；构建空间生命繁育数据库，解析空间环境影响哺乳动物繁育的调控机制。

**考核指标：**建立 1~2 套空间哺乳动物（包括灵长类）配子质量维持及功能研究体系，实现小鼠空间受精过程的连续可视化监测；建立 1 套可评估空间早期胚胎发育潜能的指标体系，提升哺乳动物早期胚胎的空间发育质量和效率；建立 2~3 种小鼠空间妊娠维持与分娩的研究技术，支撑空间环境影响哺乳动物繁育的关键事件解析；数据库整合空地基因组、转录组、蛋白组、代谢组等数据总量不低于 10TB，构建不少于 3 套空间发育表型-基因型-空间环境暴露关联数据集及其导航图。

## 2. 极端地磁电流作用下电力变压器失效机理与耐受能力评估

**研究内容:** 面向高空电磁脉冲晚期环境和地磁暴作用下电力变压器安全防护与高耐受能力变压器设计制造重大需求, 研究极端地磁扰动与电力系统非线性耦合机理, 提出变压器效应试验关键波形参数; 研究极端地磁感应电流作用下变压器内部电-磁-热-力多应力分布特性, 探明变压器关键材料损伤特性及机制; 研究极端地磁感应电流下变压器绝缘/机械/热等效效应特征和影响规律, 明确变压器失效模式和机理; 开发极端地磁感应电流作用下变压器耐受能力评估算法, 研制评估软件并在极端地磁等效环境下开展变压器评估应用。

**考核指标:** 揭示变压器在极端地磁感应电流作用下的失效机理, 形成变压器耐受地磁感应电流能力评估方法。变压器效应试验关键波形参数应包含电流幅值、上升时间、半高宽; 构建极端地磁感应电流下变压器内部应力多物理场耦合计算模型, 相比测点实测值, 温升计算误差 $\leq 10\%$ , 机械振动位移计算误差 $\leq 10\%$ , 磁场计算误差 $\leq 5\%$ ; 真型电力变压器试验平台电压等级不低于 110kV, 注入等效地磁感应电流峰值能力上限 $\geq 100\text{A}$ 、持续时间 $\geq 20\text{s}$ 、上升时间 $\leq 0.2\text{s}$ , 效应数据集包含不少于 500 次电流注入试验数据; 应用所研制的评估软件对不少于三种型号的变压器开展极端地磁等效环境下的耐受能力评估应用。

### 3.近水面空-海信道建模与低功耗高可靠小型化通信终端技术

**研究内容：**针对近水面电磁波传播特性受风、浪、流等多因素耦合影响，高海况条件下链路可用性差等问题，聚焦水上-水下稳健高效跨域信息传输能力提升，开展近水面空-海信道特性测量与建模研究，建立信道特性数据库和仿真平台，表征近水面电磁波传播特性复杂高动态特征；研究超低功耗天线射频设计及控制机理、高海况下快速接入与可靠传输机制等关键技术，研制高可靠、低功耗、低成本、小型化近水面卫星通信终端，完成海上试验验证，为构建广域覆盖的低成本海洋监测系统提供关键技术支撑。

**考核指标：**提出多要素耦合影响条件下近水面空海传输信道测量方法，建立无线信道传播特性（包括路径损耗、时延扩展、多普勒扩展等）数据库，实测样本数不低于 20000 条，数据涵盖 L、S、Ku、Ka 等不少于 6 个典型频段，测量条件要素包括不限于：海况（4 级及以下）、天线高度、摇摆、频段、带宽（不少于 100MHz）；构建数据模型双驱动的无线信道仿真平台，与实测数据的标准误差不大于 6dB。面向非系留式中小型跨域平台，研制小型化近水面卫星通信终端，终端直径不大于  $\Phi 170\text{mm}$  时，相比于现有基于北斗、天通等卫星的终端，数据率提升 1 倍以上，功耗降低 50%（正常通信状态下的功耗）。构建跨域信息传输海上验证系统，节点不少于 15 个，不高于 4 级海况（含 4 级海况）时，终端摇摆周期小于 8 秒、指向性改变不大于  $\pm 30^\circ$  条件下，通信成功率不低于 95%。

#### 4.小型化机动式空-海跨域低频电磁波通信技术

**研究内容：**针对传统低频信号发射系统体积大、功耗高、机动难等问题，聚焦小型化机动式空-海跨域低频电磁通信，开展典型场景下低频电磁波跨空气-海水界面传播信道特性测量，揭示复杂海况高动态条件下低频电磁波跨介质传播机理和规律；突破新体制/新材料小型化高效发信技术，研究低频信号调制/辐射一体化技术和高灵敏度接收技术；构建小型化机动式空-海跨域低频通信系统样机，完成基于无人机的跨域通信海上试验验证。

**考核指标：**建立低频电磁信号跨空气-海水界面传播特性数据库，实测样本数不低于 5000 条，信号覆盖频点不少于 3 个；结合实测数据，建立 3~300 赫兹频段内跨介质传播特性模型，定量表征不同海况条件下空气-海水界面影响规律；研发小型化低频发信系统（工作频率 3~30 赫兹或 30~300 赫兹），各向尺寸（含天线）最大不超过 0.5m；利用无人机开展跨域通信系统样机海上试验验证，实现空-海跨域指令信息传输，传输距离不低于 400m（其中水下深度不低于 150m），持续通信时间不少于 1 小时，传输成功率不低于 95%。

## 5.电催化水活化制活性氢/氧用于合成绿色化学品关键技术研究

**研究内容：**基于绿电驱动，设计具备柔性启动与负载调节能力的阴极加氢耦合阳极氧化成对电催化合成反应体系，得到市场前景好、附加值高的化学品；揭示电极表面水分解制活性氢催化有机物加氢和活性氧催化有机物氧化反应能级的匹配规律，用于电催化醛类、醇类或酸类分子的氧化还原反应，优化产物选择性和碳利用率；创制可控电极放大技术，开展电化学与反应工程研究，结合工业反应器设计理念，开发适用于阴阳极成对电催化合成的反应器，实现醛/醇/酸等反应物的高值转化；开展复杂电解液中产物分离和纯化研究，并基于不同产品组合，构建反应、分离、纯化工艺全流程，耦合炼化工程进行工艺流程和能量优化，开展工程应用研究，开展系统的 LCA 与 TEA 分析。

**考核指标：**构建 $\geq 4$ 种阴阳极成对电合成反应新体系（如：醛/醇/酸等反应物）；在电流密度 $\geq 200\text{mA}/\text{cm}^2$ ，工作电极面积 $\geq 1000\text{cm}^2$ 条件下，实现阴极和阳极产物 FE $> 90\%$ ，阴极和阳极产物选择性 $> 90\%$ ，阴极和阳极反应物转化率 $> 90\%$ ，催化稳定性 $> 1000$ 小时；构建规模 $\geq 50\text{kW}$ 的成对电催化合成中试装置，成对电合成产物 $> 100\text{t}/\text{a}$ ，分离后产品纯度高于 $> 99\%$ ；研发 1000 吨/年的电解水制活性氢/氧耦合成对绿色化学品合成工艺包。

## 6.绿电氢氨驱动变革性化工新过程系统集成关键技术及工程验证

**研究内容：**“物质-能量”耦合的一体化系统研究，全流程一体化集成优化模型与求解方法；适应于低温低压宽氢氮比的新型合成氨催化剂研究；动态条件下宽幅合成氨设计、低负荷运行节能及安全自动化控制方法；配套氨合成塔、电解槽等核心设备在负荷频繁波动下的安全韧性提升研究；动态条件下电解槽与氨合成塔耦合稳定方法；研究多工段之间的质能平衡机理，绿氢化工系统的负荷调节特性。

**考核指标：**掌握绿电氢氨一体化系统集成优化建模和求解方法，开发系统总流程优化配置软件，实现在满足项目约束和要求下，每吨绿氨制造成本相比市场降低 3%；适应新型低温低压宽氢氮比合成氨催化剂，在压力 $\leq 6.8\text{MPa}$ 、温度 $\leq 390^\circ\text{C}$ 条件下，出口氨浓度 $\geq 16.0\%$ ，氢氮比调控范围 1.0~3.5；合成氨适应 10%~110%的负荷波动范围，合成氨装置的负荷跟随速度不低于 3%负荷/分钟；建成年产千吨级绿氨合成示范装置并实现工程验证，氨合成塔压力波动范围不高于 $\pm 1.2\text{MPa}$ ；绿电氢氨工厂运行优化调度控制，整体动态响应电网调节时间 $\leq 1$ 秒，功率跟踪稳态偏差（最大消纳利用/功率跟踪）： $\pm 2\%$ 额定功率。

## 7.针对心脑血管疾病的精准递释系统创制

**研究内容：**探索心脑血管疾病临床治疗所需的按需释放、长效缓释等用药需求，发展具有生理/病理信号响应性、长效稳定释放等性能的递释新材料；研发低成本创制条件下、基于生物化学识别、渗透压等原理的精准释药技术，并结合可控递药透皮微针、植入储库等给药器械，实现针对心脑血管疾病治疗的及时干预、可控精准递释和协同增效，并在动物疾病模型中进行有效性及安全性验证；研发成本可控、质量稳定且可批量化生产的递释器械的生产工艺。

**考核指标：**开发至少 2 种具有生理响应性、快速起效、长效稳定释放等性能的递释新材料，结合至少 2 种基于微针、植入器械等新型给药方式，实现针对心脑血管疾病的精准递释；材料/器械可维持近恒速稳定释放不少于 12 小时，实现与临床需求相匹配的药物释放模式，活性成分利用率 $\geq 60\%$ ；在 3 种不同疾病动物模型中完成有效性及安全性评估；在 1 种动物模型中验证递释器械可响应体内生理/病理信号实现智能控释的性能；完成 1 种器械的工艺开发。按新药申报要求完成全部药学研究工作，至少获得临床试验申请受理号 1 项。

## 8.基于分子识别的肿瘤精准靶向递释系统及活体动态监测

**研究内容：**综合运用人工智能、生物物理学、分子生物学、光谱学、质谱学、定向进化等多学科方法，开发并优化基于肿瘤分子识别机制的多种高亲和力高特异性分子识别元件，重点面向肿瘤临床关键生物标志物和微环境调控信号，满足复杂的工程化应用需求；发展基于分子识别、内吞增效的载体新材料，构建器官、细胞及亚细胞精准靶向递释系统，解决载体的体内稳定性、靶向性、可控释放等工程化难题，显著提升靶向递释效率；搭建基于肿瘤器官芯片的载体材料评价和筛选平台，优化载体设计，精准定位靶组织；发展实时三维光学、CT 监测及核医学分子影像技术，系统解析载体系统体内转运机制以及细胞级群体动态在疾病发展与活性成分作用中的规律，建立载体结构-细胞群体-体内效应之间的关系。

**考核指标：**获得 2~3 种分子识别元件，建立 1 种基于肿瘤器官芯片的载体材料评价和筛选平台，建立标准化检测流程和质量控制体系，确保识别元件性能稳定性和检测一致性 $\geq 90\%$ ；获得 2~3 种基于分子识别的肿瘤精准靶向递释系统，载药率 $\geq 80\%$ ，肿瘤部位活性成分释放率 $\geq 90\%$ ，实现肿瘤抑制率 $\geq 90\%$ ，并通过优化生产工艺，提高递释系统的可重复性和规模化生产能力；光学监测系统成像视野 $\geq 7\text{mm}$ ，成像深度 $\geq 1\text{mm}$ ，各向同性的空间分辨率 $\leq 2\mu\text{m}$ ，三维成像速度 $\geq 5$  体积/秒；开发 1~3 项基于分子识别的肿瘤精准靶向递释系统。按新药申报要求完成全部药学研究工作，至少获得临床试验申请受理号 1 项。

## 9.AI 辅助的抗衰老及神经退行性疾病靶向递释系统开发

**研究内容：**针对体内衰老细胞/组织及中枢神经靶向递送，基于 AI 精准预测算法、病灶靶点高特异光谱识别技术、自动化高通量合成及筛选技术，精准解析与衰老及神经退行性疾病紧密相关的细胞类型，构建靶向递释载体材料库，如脂质、多肽/蛋白、硅基微纳颗粒、功能化聚合物等；搭建类器官全流程自动化培养平台，利用多时序空间转录组、单细胞多组学等多模态数据，构建基于类器官的高通量芯片用于高效优化载体设计，精准定位靶组织，构建智能递释系统；结合活体显微镜和体内成像技术，精准验证作用靶点；构建小动物和非人灵长类动物疾病模型开展递送系统的组织分布、安全性、有效性评价，以实现阻滞/延滞相关疾病发生发展。

**考核指标：**构建疾病病灶靶向载体材料库及智能筛选平台，优化获得 3~5 种器官、中枢神经靶向递释载体；构建智能递释系统平台，完成 2 种精准靶向递送与高效释放体系的研究；建立 1 种类器官组建新方法或数字类器官模型，以及 1 种自动化、高通量培养及分析平台以及研发动物衰老模型和神经退行性疾病模型，完成靶向性、安全性、有效性的临床前评价。按新药申报要求完成全部药学研究工作，至少获得临床试验申请受理号 1 项。