

附件

“战略性科技创新合作”重点专项 联合研发项目申报指南 (征求意见稿)

一、总体目标和安排

当今世界正处于百年未有之大变局，全球范围内新一轮科技革命和产业变革加速演进，世界各国既要共享科技全球化深入发展的机遇，也要共同面临粮食安全、卫生健康等领域一系列挑战。为落实《国际科技合作倡议》，推动科技创新合作应对全球共同挑战，中国愿同全球顶尖科学家、国际科技组织一道，加强重大科学问题研究，加大共性科学技术破解，加深重点战略科学项目协作。本专项拟主动设计部署一批项目，通过凝练制约经济社会发展的共性科学问题，开展国际联合研发，共同推动解决共性问题 and 全球共同挑战，共促全球可持续发展。

二、领域和方向

本批次指南拟在农业与粮食安全、生物医药与卫生健康等 8 个领域启动一批指南任务，共计 55 个二级指南方向。拟支持约 55 个项目，国拨经费概算约 3 亿元人民币。项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究任务申报。除指南方向中特殊说明外，申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。

除指南方向中特殊说明外，每个指南方向拟支持项目数为 1~2 项，具体是指：每个指南方向拟支持项目数原则为 1

项；在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持 2 项。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。对于申报项目数量不多于拟支持项目数量的指南方向，将组织指南编制专家组审核研判是否开展项目评审立项，若继续开展项目评审立项，将提高评审立项标准。

项目不下设课题，中方参与单位总数不超过 10 家，实施周期一般不超过 3 年。鼓励产学研用合作开展研究。申报项目时须有 1 个（或以上）国（境）外合作单位共同参与申报，国（境）外合作单位总数不设上限。项目申报单位应与国（境）外合作单位具有良好的合作基础，双方需签订合作协议，合作团队均需具备一定的技术优势，并且分工明确，合作开展研究。

项目要坚持目标导向和问题导向，通过国际合作产出高质量成果，并重点关注和总结国际合作对项目成功实施所发挥的关键作用。国际合作项目除了完成指南中明确的科研内容和考核指标之外，还要特别注重国际合作成效，应在突出国际合作的合著论文、联合申请国际专利或标准、国际会议、人才培养交流、合作平台建设等指标上有所体现。项目形成的中外合著论文中，发表在我国科技期刊上的比例原则上不低于 50%。

具体指南方向如下。

1.农业与粮食安全

1.1 未来老年功能食品的柔性增材制造技术与装备合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对老年功能食品增材制造中原料营养特性复杂、跨区域个性化需求匹配难、装备智能化水平低等共性技术难题，研究开发集成“感知—反馈—调控”功能的智能化食品增材制造技术与装备。具体包括：采集全球典型老年功能食品原料的营养成分、流变特性及加工适应性数据，构建全球老年功能食品原料多维度数据库；通过在线感知和智能控制技术，实现对老年功能食品原料营养成分、流变特性的实时监测，结合老年人个体健康数据，自适应柔性调控装备打印过程，确保成品营养精准匹配与结构优化；通过新型基材开发和流水线化设计，实现老年功能食品快速、高效的个性化柔性批量制造，满足不同老年群体对低糖、低脂、高纤维等特殊饮食需求。

考核指标：

（1）开发食品增材制造核心新技术 3 项。

（2）研制食品增材制造新装备 1 套，与现有挤出式食品 3D 打印装备相比打印效率提升 $\geq 50\%$ 。

（3）召开老年食品增材制造相关国际研讨会 2 次。

关键词：老年功能食品；增材制造；智能化装备；在线感知；自适应调控；个性化批量制造；国际合作

1.2 耕地政策影响下农业系统气候韧性及区域合作机制研究（基础研究类）

研究内容：针对高标准农田建设中农田基础设施建设与作物多样种植的协同增效机制不清，自主农田生产系统模型

缺乏等现状，重点解析其对农业系统气候韧性与固碳减排能力的影响过程，服务粮食安全与农业可持续发展。通过中外协同研究，推动关键模型、参数库与计量方法的互认与应用。具体包括：结合中国高标准农田建设与国外农业基础设施经验，评估景观尺度下地块、道路、林网、灌溉系统等关键要素对农业系统抗旱、耐热能力的支撑作用，构建多气候带“农田基础设施—作物多样种植”协同模型，开发适应性参数库，形成基础设施韧性提升技术路径；以中外代表性农区为对象，分析多样化种植和轮作体系在高温干旱背景下的产量响应与水分利用效率，揭示其对农业生态系统碳汇与温室气体排放的调节机制，研发作物多样性促进土壤碳固定的计量模型，推动碳汇评估方法的国际互认，验证不降低主粮产量前提下的碳增汇效益；依托中外农业信息基础设施，研究农田基础设施与作物多样种植之间的互馈机制，集成遥感、人工智能与 3D 模拟等技术，开发基础设施智能规划模块与作物配置优化模型，构建天空地一体化农业预警与配置系统，建立多尺度、多气候区适用的农业信息平台，开展中外农业政策对比与区域合作机制研究，服务区域间联动模拟与资源配置优化，形成“监测—模拟—优化”闭环，提升全球农业系统可持续性。

考核指标：

（1）关键技术联合研发：联合开发“农田基础设施—作物多样种植”协同增效关键技术 2~3 项，建立适用于多气候带、多作物的集成优化模型体系 1 套。

（2）智能决策平台建设：共建农业气候智能监测与决策支持系统平台 1 个，开发具备作物配置推荐、基础设施监

管、气象预警等功能的决策模块 1 套，推动区域间联动模拟与资源优化配置。

（3）应用示范区建设：建立典型示范区 2~3 个，完成 ≥ 3 类作物多样种植方式对比试验，建立共享数据集，并联合开展模式验证报告 2 份，并形成跨区域合作的农业适应性政策建议 ≥ 1 项。

（4）国际交流合作强化：组织开展农业气候适应与绿色转型主题的国际研讨会 1~2 次，联合举办专题论坛或培训 ≥ 2 次，推动科研人员国际交流与实地互访 ≥ 20 人次。

关键词：作物多样性；农田基础设施；农田生产系统模型；气候韧性；碳排放评估；可持续农业；国际合作

1.3 棉花抗逆精准育种与智能绿色栽培一体化技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对中亚及非洲等旱区面临干旱、盐碱化与病虫害叠加等胁迫严重制约棉花生产的问题，研究创制高抗耐逆棉花新种质及高效智能绿色栽培技术体系。具体包括：联合开展种质资源的收集、筛选与表型考察，系统挖掘关键抗逆基因位点；研发适用于旱区的全基因组选择精准育种智能模型，对优良基因位点进行快速聚合设计育种；集成基因编辑与合成生物学技术对优异棉花材料进行定向改良；构建节水、高效、智能的绿色栽培管理体系，从头创制提高棉花耐盐抗旱的新型调节制剂等产品，服务中亚及非洲旱区棉花可持续绿色生产。

考核指标：

（1）收集、引进全球（重点是中亚、非洲旱区）棉花核心种质 ≥ 2000 份，筛选优异种质育种材料 ≥ 100 份。

(2) 构建大规模基因型、表型和环境数据集并解析与棉花优质抗逆性状候选关键基因位点 ≥ 30 个。

(3) 建立旱区棉花智能育种模型与平台；应用基因编辑与合成生物学技术体系，创制抗逆优异棉花新种质 ≥ 50 个；创制包括纳米调制剂等新型棉花控制剂不少于 3 个。

(4) 申请或授权发明专利 ≥ 10 项，国际联合育种或栽培技术标准 ≥ 2 项，申报棉花新品种 ≥ 2 个。

(5) 集成节水滴灌、绿色防控、田间传感等技术，研究开发智能绿色栽培技术体系，示范种植面积不少于 10000 亩，实现单产提升 $\geq 15\%$ 、节水 $\geq 30\%$ 。

关键词：棉花；抗病虫；耐旱；耐盐碱；智慧绿色棉花生产；中亚—非洲；国际合作

1.4 饲料营养代谢智能捕获与精准高效利用技术合作研究（基础研究类）

研究内容：针对饲料养分在畜禽体内代谢转化过程及机制理解不清晰，无法实现精准营养调控的难题，重点探索营养代谢智能传感器和类器官芯片的研发，以及营养素代谢与利用的机制解析，从而提升生产效率。具体包括：研发高灵敏度智能传感器，实时监测畜禽体内能量和氨基酸代谢；建立肠道、肝脏和骨骼肌类器官芯片，系统解析机体对氨基酸和能量吸收、代谢和沉积的复杂过程和调控机制；构建调控氮沉积关键靶点的多器官芯片营养素高通量筛选系统，确立提高饲料养分利用的精准调控技术。

考核指标：

(1) 以猪为研究对象，创制营养代谢智能捕获传感器 1~2 套，多器官芯片营养素高通量筛选系统 1~2 套。

(2) 明确猪肠道、肝脏、骨骼肌对氨基酸和能量的动态需求，明确调控机体氮沉积的分子机制。

(3) 建立提高猪养分利用的精准调控技术，氮沉积效率提高 3~5%。

关键词：营养代谢智能传感器；类器官芯片；精准营养；国际合作

1.5 中国—东盟作物重大病虫害可持续防控体系构建合作研究（应用示范类）

研究内容：针对作物病虫害对农业生物安全构成严重威胁问题，布局农业病虫害智能监测网络和联防联控机制，推动建立重大跨境农业病虫害防御屏障。具体包括：(1) 在中国—东南亚建立跨境农业病虫害智能化联合监测点，制定统一的监测技术规范，形成数据和信息共享的监测网络；(2) 熟化推广适合东南亚国家的跨境农业病虫害防控技术体系，提升当地重大农业病虫害治理水平；(3) 组织开展技术输出，帮助东南亚国家开展病虫害防控产品研发，带动中国企业“走出去”，提升当地植保科技产业化发展；(4) 构建东南亚区域性跨境农业病虫害“监测、预警、防治”全链条防御屏障，形成远程监测识别、跨境协同处置的联防联控网络体系。

考核指标：

(1) 监测预警体系建设：在东南亚建立智能化跨境农业病虫害监测点 ≥ 5 个，对草地贪夜蛾、稻纵卷叶螟等重大病虫害的智能化监测识别精度达到 80% 以上，制定重大跨境病虫害监测方法标准 ≥ 2 项，建立信息共享平台 1 个。

(2) 技术推广示范：集成区域性跨境病虫害联防联控

技术体系 ≥ 3 套，建立核心示范区 ≥ 5 个，累积示范面积 ≥ 10000 亩。

(3) 产品研发：与东南亚国家协同开展生防微生物资源挖掘，筛选活性菌株 ≥ 3 株，联合研发病虫害绿色防控产品 ≥ 2 个，申请国际专利 ≥ 2 个。

(4) 信息深度挖掘：开展多源数据融合处理和深度挖掘，分析掌握东南亚大时空尺度跨境农作物病虫害发生与灾变规律，形成跨境农作物病虫害发生与防治科技报告1份。

(5) 人员交流与培训：互派管理和科技人员开展短期互访交流 ≥ 30 人次；组织主题培训 ≥ 10 次，培训高层次科技人员 ≥ 100 人次，培训农民 ≥ 2000 人次。

(6) 强化国际交流：举办跨境病虫害联防联控国际研讨会1~2次、跨境作物病虫害防控技术论坛1~2次。

关键词：作物生物安全；跨境病虫害；监测网络；技术推广；联防联控；国际合作

2.生物医药与卫生健康

2.1 基于合成生物学原理的植物源性药物分子高效制备国际合作研究（基础研究类）

研究内容：针对自然来源有限、结构复杂的植物活性天然产物开展生物合成与化学合成研究，合作建立新颖、高效的化学—酶法合成路线，实现相关天然产物的高效合成与精准修饰，服务植物天然药物的创制。具体包括：解析具有抗癌、抗感染、抗纤维化等重要药用价值的植物天然产物的生物合成途径；阐明其生物合成关键酶的催化机制；充分利用合成生物学和化学合成各自的优势，针对上述目标植物天然产物开发新颖高效的化学—酶法合成路线；通过蛋白工程化

改造手段进一步拓展关键酶的底物识别范围，实现相关天然产物的高效衍生，阐明其构效、量效关系。

考核指标：解析 2~4 个具有重要药用价值植物天然产物的生物合成途径，阐明 2~4 个新颖生物合成酶的催化机制；针对 2~3 种植物天然药物，开发具有一定工业应用前景的化学—酶法合成路线，实现其克级规模合成；针对 2~3 个构效关系不明的植物活性天然产物，基于化学—酶法合成策略构建相应的衍生物化合物库，库容量不低于 30 个，并阐明其构效关系；国际合作人员互访不少于 10 人次；接受合作国人员来华或派出国内人员至国外合作实验室共同开展该项目科研工作不少于 2 人，累计不少于 6 人月；召开相关国际研讨会 1~2 次，每次不少于 5 名外籍专家参会；中外联合发表高水平学术论文不少于 4 篇，申请国际专利不少于 2 项。

关键词：植物天然产物；合成生物学；化学—酶法合成；构效关系；国际合作

2.2 抑郁症认知功能损伤的病理机制与干预技术国际合作研究（基础研究类）

研究内容：针对抑郁症难治和易复发的临床困境，聚焦认知功能损伤对抑郁症治疗结局的影响，解析病理机制并研发新型干预技术，实现临床治疗的新突破。具体包括：建立前瞻性队列，明确抑郁症核心认知功能损伤及其对抑郁症难治和复发的影响；引入国际优秀平台的新型分子探针和 PET/MR 脑功能图像分析技术，深入研究抑郁症核心认知功能损伤的病理机制；明确抑郁症核心认知功能损伤的大脑环路和有效干预靶点，并基于此构建精准诊断和疗效预测模型；开发个体化治疗策略，提高临床治疗效果。

考核指标：建立不少于 300 例抑郁症患者的队列，明确影响抑郁症难治和复发的核心认知功能损伤内容；引入 1~2 种新型分子探针，解析抑郁症核心认知损伤的病理机制，明确 1~2 个有效干预靶点；构建精准诊断和疗效预测模型各 1 个；开发 1~2 种聚焦核心认知损伤的干预技术；完成 1~2 项具备自主知识产权的干预手段的临床研究。

关键词：抑郁症；认知功能；大脑环路；新型干预技术；国际合作

2.3 医用同位素 Ac-225 生产关键技术及 Ac-225 类创新核药联合研发（共性关键技术类）

研究内容：针对危害人类健康的前列腺癌等恶性肿瘤疾病，通过国际合作开展 Ac-225 核素产业化制备技术开发、Ac-225 核素的分离纯化、肿瘤疾病创新核药的非临床及药学研究，降低核药成本，提升产品性价比和质量，加速 Ac-225 核素产业化供应及 Ac-225 核素标记的创新核药的临床应用。

考核指标：突破 Ac-225 核素完整制备技术、密封型镭靶的密封性检测技术等生产关键技术 2 项；研制 Ac-225 自动化分离纯化装置 1 台；开发新型 Ra^{2+}/Ac^{3+} 高效分离复合树脂；获得 Ac-225 核素标记的肿瘤疾病创新药 IND 批件；中外联合发表论文 2 篇，申请发明专利 2 件；开展国际交流互访不少于 3 次。

关键词：Ac-225 生产技术；核素分离纯化技术；肿瘤疾病创新药；国际合作

2.4 罕见及特殊人群肿瘤新靶点和候选新药发现合作研究（基础研究类）

研究内容：聚焦葡萄膜黑色素瘤、儿童肿瘤等罕见肿瘤，

通过多组学整合患者源性类器官模型与原代细胞样本库，解析调控罕见肿瘤恶性演进过程的关键驱动因子，揭示其通过表观遗传及微环境重塑等方式介导肿瘤转移、复发等过程的新机制；确证靶向性明确、成药潜力高的药物作用新靶点；构建共价环肽类靶向药物物理性设计平台，结合高通量合成与类器官药效验证体系，开发高选择性候选新药；开展临床试验，对罕见肿瘤的新调控机制进行临床验证。

考核指标：针对葡萄膜黑色素瘤、儿童肿瘤等罕见肿瘤，构建不少于 50 例具有特色的患者源性类器官及原代细胞样本库；揭示 3~5 种调控肿瘤转移等恶性演进过程的关键驱动因子及全新分子机制；确证 2~3 个具有成药潜力的罕见肿瘤药物作用新靶点；开发新型骨架共价环肽的靶向药物设计平台，基于新靶点获得 5~10 个全新骨架的共价环肽分子，筛选获得 1~2 个具有自主知识产权的候选新药，完成研究者发起的临床研究 1 项，在不少于 20 例患者中获得初步有效性和安全性数据；中外联合发表论文 2~3 篇；建立国际联合实验室，开展国际合作交流互访 1~2 次，召开国际研讨会 1~2 次。

关键词：罕见肿瘤；新靶点；共价环肽药物；候选新药；国际合作

2.5 液体活检用于胆道恶性肿瘤精准医疗的临床合作研究（关键共性技术类）

研究内容：针对胆道恶性肿瘤患者可从新辅助/转化治疗获益但缺乏最佳手术时机证据的迫切临床需求，基于我国胆道恶性肿瘤的先进手术技术优势，引进 5hmC-Seal 等液体活检前沿分析与预测技术，并利用 5hmC-Seal 等液体活检技术

明确胆道恶性肿瘤的新辅助/转化治疗后的最佳手术时机，建立胆道恶性肿瘤精准诊治标准。具体包括：结合我国现有回顾性研究队列数据，依托国际合作引进和利用 5hmC-Seal 等液体活检技术，确定局部晚期胆道恶性肿瘤新辅助/转化治疗后的最佳手术干预时机；开展 1 项胆道恶性肿瘤新辅助/转化治疗的多中心随机对照临床试验，完成 5hmC-Seal 等液体活检方法对于手术最佳干预时机的预测作用验证；形成胆道肿瘤诊治国际新标准。

考核指标：利用 5hmC-Seal 等液体活检技术确定局部晚期胆道恶性肿瘤新辅助/转化治疗后最佳手术干预时机，完成相关技术验证性多中心随机对照临床试验 1 项；形成胆道肿瘤精准医疗标准，制定国际指南和国内指南各 1 项；邀请国外专家赴华开展相关技术培训不少于 6 人月；国际合作人员互访不少于 6 人次；召开相关国际研讨会议 2 次；申请国内、国际相关技术发明专利 2 项；中外联合发表国际高水平学术论文 3 篇。

关键词：胆道恶性肿瘤；液体活检；手术干预时机；国际合作

2.6 跨种传播呼吸道病原体监测与风险评估国际合作研究（基础研究类）

研究内容：为共同构筑全球传染病防控防线，提升病原监测和防控能力，面向全球新发传染病高风险地区，围绕“早监测、早识别、早预警”的突发公共卫生防控需求，聚焦呼吸道传染病跨种传播与跨境扩散风险识别与应对能力建设，研究多源病原体的跨物种传播机制、生态风险因子及区域联动预测体系。通过中外科研机构合作与人员交流，建立跨区域

联通的病原监测网络，提升多国联合识别、响应、协同防控能力，为构建人类卫生健康共同体贡献力量。具体研究内容包括：病原体跨物种传播机制与病毒谱特征研究。聚焦冠状病毒、副黏病毒、沙粒病毒、汉坦病毒等全球高度关注的病原体，在人类与野生动物（蝙蝠、鼠类等）中开展样本采集与宏基因组/宏转录组测序，研究其适应性突变、受体利用机制及宿主谱扩展规律，构建多区域病原谱数据库，为新发病原早识别提供支撑；生态与社会传播驱动因子建模研究；建立涵盖气候因子、土地利用、人口跨境流动等信息的综合驱动因子分析框架，识别跨境传播核心触发机制，绘制重点区域病原动态风险图谱，支撑跨境传播链条解析；加强国际合作与交流，为相关国家培训专业人才，提升病原监测防控技术水平和研究能力，增进人民健康福祉。

考核指标：采集人群与动物样本合计不少于 2000 份，其中临床呼吸道样本不少于 1000 份，动物样本不少于 1000 份，完成 500 份以上样本的深度测序分析，获得病毒序列不少于 800 条，建立覆盖 10 个病毒科以上的区域病原谱数据 1 套；鉴定出 5 种以上新型或高变异病原株，明确 1 种以上优先关注病毒的跨物种传播机制，完成 2 种病毒的宿主谱进化路径分析与可视化展示；建立生态与社会多因子驱动分析框架 1 套，识别不少于 5 项关键传播促进因子，明确 2 种病毒的区域传播链条或生态迁移轨迹；中外联合发表论文不少于 2 篇，建成 1 个以上中外联合实验室，组织国际技术培训不少于 2 场，培训人数合计不少于 20 人次。

关键词：跨境传染病监测；病原谱；驱动因子；国际合作

2.7 基于大模型 AI 的全智能恶性肿瘤核素诊疗一体化平台国际合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对恶性肿瘤核素诊疗一体化重大临床需求，依托大模型 AI，结合生化、病理等临床数据和多模态分子影像数据，构建集图像重建、病灶分割、疗效预测于一体的智能诊疗软件平台，全面提升核素影像的精准性与效率。具体包括：开发 AI 驱动的支持多核素、高分辨率正电子发射断层成像（PET）图像重建算法，降低成像噪声，提高定量精度，增强影像对疾病状态的监测能力；构建自动化的 PET 影像量化分析模型，实现跨靶点病灶及器官的快速识别与定量，支撑个性化核素治疗路径决策；建立多中心、多人种、多疾病、多核素的高质量 PET 影像数据库，探索数据安全共享与模型协同训练；依托生化、病理和影像等多模态数据，开发 PET 引导的核素治疗疗效预测模型与人群选择模型，实现治疗个体化；通过国际合作，共建模型平台与数据互认证体系，推动研究成果的国际标准化与全球临床部署。

考核指标：开发 1 套 PET 核素诊疗一体化全流程智能软件，实现高清 PET 重建，病灶全自动分割、用药疗效预测和个性化疗程评估功能，并且取得 CE 或者 FDA 产品注册证；支持 PSMA、SSTR2 及 FAP 诊疗一体化靶点的 PET 图像重建，同时支持 18F 和 68Ga 等多种核素重建，实现空间分辨率优于 3mm，重建时间短于 5 分钟，相较于传统的 OSEM 算法，图像噪音降低 20%，信噪比提高 10%；软件实现肝脏，骨骼，颅脑，肾脏等器官的自动分割，器官分割 DICE 值高于 0.9，肿瘤分割 DICE 值高于 0.7，整体图像处理时间小于 2 分钟，软件实现病灶分析报告生成功能，报告包括病灶数

目、病灶大小、病灶代谢指标等在内的至少三项定量化参数；建立多中心（至少两家）、多人种（至少两种）、多类恶性肿瘤（至少两类）、多核素（至少两种）的 PET 影像数据库，整合不少于 300 例跨中心 PET 影像与临床数据，推动影像数据的标准化和共享机制；完成不少于 2 种病种的治疗响应预测模型开发，并在 3 家医院（包含至少一家海外单位）初步验证，其 AUC 值不低于 0.80；开展国际合作互访两次，形成恶性肿瘤核素诊疗一体化数据采集类型的专家共识；申请不少于 3 项国际专利，中外合作发表不少于 4 篇高水平论文，在不少于 3 家医院（至少一家海外单位）推广临床应用。

关键词：AI 大模型；核素诊疗一体化；肿瘤；图像重建算法；PET；国际合作

3.矿产资源

3.1 深部难采矿体安全高效连续开采关键技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对矿岩软破、产状多变的深部难采矿体开采所面临的应力环境复杂、工程稳固控制难、回采作业离散连续差及贫化损失率大等难题，开展深部矿体连续开采高应力化解利用理论研究，开发深部岩体采动大变形控制技术、深部高应力矿体梯段卸压连续开采技术、复杂中厚矿体低贫损连续开采技术、破碎矿体机械连续采矿技术与装备，建立 1800m 以深高效连续开采示范工程，形成深部难采矿体安全高效连续开采的关键理论、技术与装备。

考核指标：

（1）开发高应力岩体采场全生命周期高应力化解技术及梯段卸压连续开采技术各 1 项，高应力化解率大于 30%，

巷道最大相对收敛率小于 12%，并建立 1800m 以深卸压开采工程示范。

(2) 开发复杂中厚矿体低贫损连续开采技术 1 项，盘区生产能力 2000t/d，损失贫化率小于 8%。

(3) 开发金属矿破碎矿体机械连续充填采矿方法 1 项，单采场采矿生产能力 $\geq 300\text{t/d}$ ；研制便携式岩石可截割性测试仪器 1 台（套），产品重量 $\leq 6\text{kg}$ ，能够在环境为单轴抗压强度 0~150MPa 的岩石中正常工作。

(4) 申请发明专利 ≥ 5 项，其中申请国际专利 ≥ 1 项；中外联合发表学术论文 ≥ 2 篇。

(5) 国际合作人员互访不少于 10 人次；接收合作国人员来华共同开展该项目科研工作不少于 3 人，累计不少于 3 人月；召开相关国际研讨会不少于 2 次（每次不少于 3 名外籍专家参会）。

关键词：深部矿体；高应力；安全高效；连续开采；国际合作

3.2 地下矿山开采灾害预警与风险管控技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对“一带一路”国家矿产资源开发灾害预警与风险管控迫切需求，开发复杂环境矿山灾害监测预警系统，创新研发矿区风险管控关键技术及装备，并实现推广应用，具体包括：探明地下矿山开采采空区失稳灾变机理，研发采空区动力灾害监测预警技术；开发复杂环境下灾变参量、设备状态、人员定位多功能实时监测模块，建立地下矿山有毒有害气体监测预警系统；构建多模态作业人员风险状态评估模型，揭示作业人员安全生产风险，研发风险管控技

术及个体风险状态监测装备；研究基于知识图谱的矿山安全生产标准化技术，编制具有区域适应性的安全生产标准化操作规范，构建地下矿山安全监测预警与风险管控平台。实现矿产开发安全生产监测预警从“被动响应”转向“主动预防”，推进相关安全生产标准化体系在“一带一路”国家矿山建设推广。

考核指标：

（1）研发集风险分级、动态预警与智能决策于一体的采空区动力灾害监测预警系统，预警准确度 $\geq 85\%$ ，预警响应时间 $\leq 1\text{min}$ 。

（2）系统监测精度方面：气体浓度误差（CO、H₂S 等） $\leq \pm 3\%$ 、位移/应力监测误差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ；系统响应速度方面：数据采集频率（关键参数） ≥ 2 次/s、报警延迟（异常→报警） $\leq 3\text{s}$ ；系统运行平均无故障时间 $\geq 6000\text{h}$ ；人员定位精度 $\leq 0.3\text{m}$ 。

（3）研制作业人员安全生产风险管控系统，系统响应时间 $\leq 1\text{s}$ ；作业人员风险状态评估准确率 $\geq 90\%$ ；作业人员风险管控个体风险状态监测装备数据采集误差 $\leq 5\%$ 。

（4）形成 1 套完整的本地化安全生产标准化操作规范，涵盖机制、指标、流程等内容，设备设施运行、作业环境要求、人员操作规范等技术指标细化率 $\geq 98\%$ ，并纳入矿山日常作业指导文件。

（5）监测数据存储周期 ≥ 1 年，存储完整、可追溯；建成地下矿山安全监测预警与风险管控平台，实现灾害实时感知和预警，预警响应时间 $\leq 1\text{min}$ 。

（6）国际合作人员互访不少于 12 人次；赴外或者来华共同开展该项目科研工作不少于 2 人，累计不少于 6 人月；

召开国际研讨会 2~3 次，每次不少于 8 名外籍专家参会；中外联合发表论文 3 篇以上，申请国际专利不少于 3 项。

关键词：矿山安全；监测预警；采空区；有毒有害气体；风险管控；国际合作

3.3 矿产选冶数字化与智能化关键技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对非洲硫氧混合型铜钴矿开发利用的智造技术、工具及系统的应用需求，与在相关行业和流程工业数字化及智能化领域具有技术优势的国别机构合作，研发基于新一代 AI 的选冶过程智能传感器、智能装备和智能系统，提升硫氧混合型铜钴矿矿产资源开发利用保供的数字化与智能化保障能力。具体包括：研究硫氧混合型铜钴矿选冶过程数字感知技术，研制选冶过程矿物流的快速检测分析装置；研究选冶联合过程智能控制与动态优化决策技术、轻量化边云协同感知与交互技术；研究过程建模仿真与数字孪生技术、装备运行态势感知、故障识别及预测技术；研究面向硫氧混合型铜钴矿选冶过程知识图谱构建和技术方案智能生成技术；开发适应硫氧混合型铜钴矿的磨矿、浮选、浸出、洗涤除杂等过程的高端 AI 工业控制软件及云一边一端协同新型智能交互系统。

考核指标：

（1）硫氧混合型铜钴矿选冶联合过程的溶液离子浓度快速检测分析系统 ≥ 1 套，流道 ≥ 6 个，每个流道检测时间 $\leq 5\text{min}$ ；检测离子 ≥ 4 种。

（2）装备、流程数字孪生模型 ≥ 5 种，形成数字孪生交互系统 ≥ 1 套，模型精度考察相比偏差 $\leq 5\%$ 。

(3) 开发面向选冶联合流程的高端 AI 工业控制软件 ≥ 2 套, 磨矿粒度控制误差 $\leq 1.5\%$, 混合矿浮选工况诊断准确度 $\geq 90\%$ 、品位合格率提升 10%以上, 溶液 pH 及离子浓度波动幅度降低 10%以上。

(4) 提供轻量化感知通用模型 ≥ 5 套, 典型故障类型 ≥ 5 种, 关键部件故障预警准确率 $\geq 95\%$, 构建选冶装备轻量化边云协同感知与交互软件系统 1 套; 研发支持 10+设备的云一边一端系统 1 套, 云一边一端闭环相应时间 ≤ 2 秒。

(5) 构建知识图谱辅助决策系统 1 套, 知识图谱覆盖模态不少于三类, 图谱中实体数不低于 5 万, 知识图谱实体、关系、属性抽取的精准率、召回率和匹配度不低于 90%, 针对核心流程的技术方案智能生成准确率不低于 85%。

(6) 申请发明专利 ≥ 10 项, 其中申请国际专利 ≥ 2 项。获得软件著作权 ≥ 4 项。

(7) 国际合作人员互访不少于 10 人次; 接收合作国人员来华共同开展该项目科研工作不少于 4 人, 累计不少于 6 人月; 召开相关国际研讨会不少于 3 次(每次不少于 3 名外籍专家参会); 中外联合发表学术论文 ≥ 4 篇。

关键词: 硫氧混合型铜钴矿; 选冶数字化; 智能控制; 优化决策; 工业软件; 国际合作

3.4 矿产开采作业尘毒过滤方法与防护机制合作研究(基础研究类)

研究内容: 针对矿产开采粉尘及有毒有害气体并存的复杂作业环境, 围绕尘毒职业病危害防护关键科学问题, 开展个体防护材料与装备基础理论研究。具体包括: 构建微纳米纤维微观拓扑结构模型, 揭示颗粒/气体在纤维网络中的协同

迁移与捕集规律；研究水驻极新型静电纺纳米纤维改性方法，提出高湿高温条件下滤膜电荷稳定性预测与增强理论，阐明多级粉尘梯度截留效应与纤维滤膜高效低阻捕尘机理；提出尘毒防护一体化滤膜合成与性能调控方法，实现粉尘过滤层与气体催化/吸附组分协同稳定复合，揭示界面结构参数对粉尘—毒害气体联合防护机制；研制适应典型面部特征的梯级过滤防尘半面罩，集成织物基柔性传感器系统，构建防护装备故障特征监测预警及应用评估模型，形成针对关键性矿产开采的高效尘毒个体防护新理论。

考核指标：

（1）构建适用于复杂矿山作业环境的尘毒协同过滤纤维材料拓扑模型，提出高效低阻过滤结构优化方法，模拟精度 $\geq 90\%$ 。

（2）针对矿产开采中粉尘及有毒有害气体并存的复杂环境，研发尘毒防护一体化复合滤料，实测颗粒过滤性能不低于中国 GB 2626-2019 标准，典型毒气（CO 等）防护时间不低于美国 NIOSH 42 CFR Part 84 标准。

（3）开发织物基柔性传感器系统，响应时间 $\leq 10\text{s}$ ，具备无线数据采集与监测预警功能，准确识别率 $\geq 95\%$ 。

（4）实现梯级过滤防尘半面罩开发及结构优化，面罩边缘泄漏率 $\leq 5\%$ 、佩戴面罩状态下不同面部区域的接触压力变异系数 ≤ 0.2 ；建立 1 套个体防护装备舒适性测试平台，覆盖气流阻力、过滤效率、温度、湿度等指标。

（5）开展国际联合实验不少于 5 项；接收合作国人员来华共同开展该项目科研工作不少于 6 人次，累计不少于 6 人月；召开相关国际研讨会 2~3 次；国际合作人员互访不少

于 12 人次；中外联合发表高水平论文 5 篇以上，申请国内外发明专利 4 项以上，其中国际专利 1~2 项。

关键词：矿产开采；静电纺纳米纤维；尘毒过滤；柔性传感；防护面罩；国际合作

3.5 矿产绿色选冶和循环利用国际合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对国外铬铁矿、磷铌矿、铜矿、铝灰等典型金属资源，开展金属资源基因特性驱动的多场—界面协同调控机制与绿色选冶基础理论研究、铬铁矿及伴生铂族金属资源清洁高效利用技术研究、复杂磷铌矿资源清洁高效利用选冶技术研究、干旱地区复杂铜矿强化回收与清洁利用技术研究、铝灰梯度熔融回收金属铝及尾渣资源化利用研究。

考核指标：

（1）与国外当地企业和研究机构建立联合研究中心，形成交流机制；

（2）形成难选矿产资源选冶强化回收理论新体系；

（3）开发铬铁矿及铂族金属资源高效回收技术 1 项， Cr_2O_3 回收率 $\geq 85\%$ 、铂族金属（PGM）总回收率 $\geq 50\%$ 、铂族金属（PGM）浮选精矿中 Cr_2O_3 杂质含量 $\leq 2\%$ ；

（4）发明新型浮选药剂 1~2 种，开发难选磷铌矿高效浮选与选冶协同提取技术 1 项，铌精矿 Nb_2O_5 品位 $\geq 35\%$ 、综合回收率 $\geq 50\%$ ；

（5）开发低品位铜矿高效选矿技术 1 项，铜精矿 Cu 品位 $\geq 38\%$ ，Cu 回收率提高 $\geq 1.5\%$ ，盐水选矿水循环率 $\geq 90\%$ ；

（6）开发新型铝灰资源高效利用与副产资源协同处置技术 1 项，铝灰中金属铝回收率 $\geq 95\%$ ，尾渣综合利用率达到

100%，脱硫渣脱硫率 $\geq 30\%$ ；

(7) 开展国际联合实验不少于 4 项；国际合作人员互访不少于 12 人次；接收合作国人员来华共同开展该项目科研工作不少于 4 人，累计不少于 6 人月；召开相关国际研讨会 3 次（每次不少于 3 名外籍专家参会）；中外联合发表学术论文 5 篇以上，申请国际专利 4 项。

关键词：铬铁矿；磷铌矿；铜矿；铝灰；绿色选冶；选冶界面化学；国际合作

3.6 能源矿产绿色加工利用国际合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对国外严寒冻土地地区储量丰富的煤炭分选难题，合作开展严寒环境下低温入料—常温分离过程中煤炭变温分选关键技术与装备联合攻关，提升高效干法分选技术的场景适应性，主要研究内容：冰水相变过程中煤—水—矸聚团/解聚调控机理、宽尺度复杂煤矸多光谱精准识别与靶向分离技术、以及振动、气流、温度等多场作用下细粒煤高效干法分选。

技术指标：

(1) 构建严寒地区煤炭气固流态化多场协同分选密度模型，分选密度预测精度 $\geq 90\%$ ；

(2) 研发煤矸智能识别技术，研制严寒环境下块煤精准分选装备，矸中带煤率 $< 3\%$ ；

(3) 开发严寒地区多场协同的细粒煤流态化干法分选技术，分选效率 $\geq 90\%$ ，吨煤加工能耗 $< 3 \text{ kWh/t}$ ，分选精度 $E=0.15\sim 0.18 \text{ g/cm}^3$ ；

(4) 提出严寒地区宽粒级煤炭高效干法分选提质工艺，

处理能力达 600 万吨/年；

（5）与合作国别机构共建国际联合研究中心；双方互访不少于 15 人次；合作举办学术会议不少于 3 次；培养研究生不少于 5 名；申请国际专利不少于 2 件；联合发表论文不少于 4 篇。

关键词：严寒地区；煤炭资源；干法分选；煤矸精准识别；靶向分离；振动流态化；国际合作

4.人工智能

4.1 基于多智能体技术的社会复杂系统模拟与全球治理合作研究（基础研究类）

研究内容：加快基于多智能体技术架构的社会复杂系统模拟方法研究、工具开发、平台建设，开展基础性研究、典型应用场景示范，服务全球发展倡议与全球治理。具体包括：

（1）聚焦多智能体系统中个体行为的价值函数建模与因果机制建构，合作研究异质智能体如何在不同目标驱动下进行演化、博弈与协同。

（2）合作研究大规模异质智能体系统的动态演化规律，探索在多价值体系、资源限制与博弈关系下，系统如何涌现出稳定、失稳或分化的群体行为模式。

（3）面向文化活动、节庆等典型聚集场景，模拟多国籍、跨文化、高密度人群在全球性大城市环境中的流动态势、风险演化与应急策略。

（4）聚焦国际供应链场景下多智能体行为建模与演化机制，模拟经济产业、国家政策、自然灾害、地缘政治等因素对全球产业体系的扰动影响与扩散路径，服务全球发展与风险防控。

(5) 面向大规模智能体系统模拟的应用需求，合作开发具备灵活建模、高并发计算能力的模拟平台，支撑多种社会场景的仿真分析，实现模型组件化、参数可调节、情景可重建的功能特性。

考核指标：

(1) 建立至少 1 种面向价值驱动和因果建模的智能体决策框架；完成不少于 3 类社会行为演化机制的模型设计；形成不少于 3 个可在后续模拟中复用的智能体行为与价值建模模块。

(2) 构建万级以上智能体规模的演化动力学模拟系统 1 套；提出不少于 3 种适用于多场景的演化方程或涌现机制建模方法；形成不少于 3 套智能体交互协议。

(3) 建立可模拟 5 万以上峰值人群聚集的动力学模型，并集成国籍、文化、价值观等社会特征参数；实现至少 1 个全球知名大规模人群聚集事件场景下的仿真系统演示；基于现场态势，动态模拟并输出人口管控、人群疏散、安全设施管理策略。

(4) 构建包含不少于 5 个国家的全球供应链模拟系统；模拟至少 2 类重大扰动事件下的系统响应与风险演化路径；提出可行的政策干预与风险缓解机制并形成政策建议报告。

(5) 研发具备模块化建模与运行支持的大规模社会系统模拟平台原型 1 套，支持 10 万级智能体模拟；集成至少 2 类典型场景（人群活动、国际供应链演化）；实现高并发仿真运行与多场景切换功能，并完成不少于 2 次公开测试与演示。

关键词：多智能体；价值因果驱动；社会复杂系统；大

规模仿真平台；全球治理；国际合作

4.2 记忆融合的分布式机器学习理论与方法国际合作研究（基础研究类）

研究内容：针对大规模深度学习模型分布式训练和推理过程中，模型记忆表示、学习和交互效率低的问题，研究基于长短期记忆体的模型记忆表示、基于联邦加速收敛的模型训练、基于流水线调度的模型协同优化等分布式学习机制，建立具备高效模型记忆表示、学习和交互的新型分布式机器学习框架。研究模型并行计算框架中长短期记忆的分布式表示、存储、迁移及更新机制，提升模型的上下文理解、持续学习等能力；研究基于联邦学习的模型分布式训练收敛加速与泛化理论，发展可跨节点泛化的模型分布式协同训练算法；研究模型并行训练的计算—通信重叠和流水线系统调度优化机制，探索突破现有通信计算瓶颈的流水线调度方式。

考核指标：构建深度学习大模型参数化模型记忆表示方法，结合现有基础大模型设计至少 1 种分布式长短期记忆体方案，具备不同领域知识提取表示、存储、迁移和更新能力；探索大规模深度学习模型分布式训练收敛加速和跨节点泛化的协同优化理论体系，相较于 FedAvg 等基线方法，数据交互轮次减少 75% 以上；构建模型分布式训练的新型通算融合架构，具备通算重叠优化和流水线细粒度系统调度优化能力，较典型稠密或 MoE 模型的开源版本，8MB 以下通信数据量，训练效率平均提升 1.6 倍以上；与国外合作方联合培养相关人才不少于 2 人，中外联合发表高水平论文不少于 5 篇，线下会议次数不少于 2 次，合作举办国际交流研讨会不少于 1 次。

关键词：分布式学习；模型记忆体；联邦学习；通算融合；国际合作

4.3 基于神经微分方程的大模型关键技术国际合作（基础研究类）

研究内容：针对当前大模型存在的计算复杂度高、记忆幻觉、安全性脆弱等关键问题，合作研究基于神经微分方程的大模型关键技术，借鉴国际成熟的大模型软硬件生态以及丰富的大模型构建经验，在国产深度学习框架基础上构建计算高效、安全性高、记忆能力强的新一代大模型。具体包括：研究基于神经微分方程动力学的大模型网络架构，构建参数高效的计算模型；研究神经微分方程大模型抵御对抗攻击的能力，构建安全稳定的大模型；研究基于吸引子机制的神经微分方程大模型记忆表达，使大模型具备数理基础支撑的长时记忆能力；基于国产深度学习框架，在垂直领域验证所提出大模型的有效性。

考核指标：

（1）提出 2 种及以上具有吸引子记忆特性的神经微分方程大模型。

（2）所构建神经微分方程大模型具备抵御至少 3 种对抗攻击的能力。

（3）基于国产深度学习框架，在垂直领域的 3 种及以上任务中完成应用验证，所构建神经微分方程大模型相较当前主流模型在关键性能指标上提升 $\geq 5\%$ ，或在保持性能相当的前提下，模型参数量降低 $\geq 10\%$ 。

（4）国际合作人员互访不少于 3 人次。

关键词：神经微分方程；大模型；吸引子；长时记忆；

国际合作

4.4 显微手术机器人的人机共融智能控制方法合作研究 (共性关键技术类)

研究内容：针对显微手术机器人人机协作难、学习曲线长、微米级操作精度高的难题，研究显微手术机器人的自主控制技术，提升显微手术操作质量，具体包括：复杂显微手术场景中软组织动态分割以及手术器械和手术过程精准识别的多模态术中智能感知方法；驱动显微手术过程实时理解与智能规划的手术知识推理与决策生成模型；围绕显微手术软组织复杂灵巧操作的全自由度显微手术机器人端到端自主控制算法。

考核指标：建立多模态术中智能感知方法，具有显微影像、操作力等至少 3 种感知模态，血管等软组织分割准确率 $\geq 90\%$ ，手术器械识别和手术操作识别准确率 $\geq 95\%$ ；建立实时手术知识推理与决策生成模型，支持拾针、进针、打结、倒手、剪线等至少 10 种典型显微操作步骤的智能规划，规划生成时间 $\leq 0.5s$ ；提出全自由度显微手术机器人自主控制的端到端算法，实现对毫米级血管、神经、淋巴管等软组织的复杂灵巧操作，开展典型显微手术场景的动物实验验证；构建全球多中心操作者经验的机器人显微手术多维信息数据集，建立显微手术自主操作安全性和有效性的评价方法。

关键词：显微手术机器人；自主控制；端到端模型；国际合作

4.5 AI 赋能的细胞多尺度解析与数字孪生技术国际合作 (共性关键技术类)

研究内容：针对细胞复杂系统跨尺度解析与精准调控的

共性挑战，研究开发 AI 赋能的细胞数字孪生技术体系，加快突破单细胞空间多组学融合、基因调控因果推断、细胞微环境互作预测等关键技术，推动生命科学和生物医学发展。具体包括：构建复杂生物环境下单细胞空间多组学数据标准化方法及先验知识图谱，基于空间转录组学、原位测序、病理影像等多模态数据，研发基于跨模态生成式人工智能方法，突破高分辨率高通量单细胞空间组学数据同时生成极限；提出模态感知的混合专家模型，形成通用单细胞空间多组学大模型框架，支持跨细胞、跨器官、跨疾病迁移学习的预训练，实现细胞数字化表征；针对单细胞空间多组学数据尺度跨度大、关联微弱的问题，融合分子调控知识图谱，研究多层次基因调控网络分析方法，揭示与细胞状态相关的多组学调控机制；结合单细胞空间多组学、单细胞活体成像等数据，研究细胞微环境互作智能分析方法，攻克非线性动态网络建模难题，准确解析细胞命运决定、癌症发生等过程中细胞微环境动态演变过程；开发集细胞多组学数据标准化、细胞数字化表征、细胞多尺度智能解析于一体的数字孪生细胞三维可视化平台，在肝癌等多癌种进行模拟验证。

考核指标：

（1）制定单细胞空间多组学数据标准化流程，形成行业标准 1 项，建立多层分子调控先验知识图谱，实体数 ≥ 20000 个，核心通路 ≥ 200 条，构建不少于 1B 数量级的单细胞数据集，包括空间转录组、空间蛋白组、空间代谢组、病理图像、荧光原位测序、介观活体成像等多模态数据；

（2）研发基于跨模态生成式算法的高分辨率高通量空间组学生成方法， $300\text{nm} \leq \text{分辨率} \leq 500\text{nm}$ ，单细胞通量达

20000 基因；

(3) 研发融合知识图谱的通用单细胞空间多组学大模型，参数规模 5B 以上，实现基因功能预测、基因扰动响应预测、细胞类型标注等 5 种以上典型分析功能，相较于同时期基础大模型，至少在 4 种功能上取得最优性能；

(4) 构建多层次基因调控网络分析方法，在 5 种以上不同细胞状态识别基因调控网络准确率 $\geq 90\%$ ，揭示 8 种以上新型多层分子调控机制；

(5) 建立肿瘤细胞与微环境其他细胞空间互作的智能解析算法，性能相比国际主流算法提升 10% 以上，获取数小时活体观测成像数据，识别 2 种与癌症相关的重要细胞微环境特征；

(6) 开发数字孪生细胞三维可视化平台，集成上述研发技术，实现本地化部署，可视化响应时间 ≤ 1 秒，在肝、胃肠癌等至少 2 种癌种实现模拟验证。

(7) 与国外合作方联合培养人才不少于 2 人，线下会议次数不少于 2 次，合作举办国际交流研讨会不少于 1 次，中外联合发表高水平论文不少于 5 篇，申请发明专利 2~4 项，计算机软件著作权 2~3 项。

关键词：生成式人工智能；生物信息学；单细胞空间多组学；数字细胞；国际合作

4.6 AI 大模型指导复杂药物的生物合成国际合作（共性关键技术类）

研究内容：针对复杂药物生物合成过程中路径设计可靠率低、周期长和产率差等瓶颈问题，开发 AI 工具并开发和优化合成路径设计专用大模型，实现 AI 大模型和合成

生物学交叉融合融合，最终建立领先的生物合成路径设计专用大模型，有效地指导复杂路径的药物生物合成。主要研究内容有：

（1）建立高精度、可扩展的生物分子特征库，实现化学反应方程路径的标准化向量数据描述，建立专用大模型训练集输入标准。

（2）通过引入高维向量空间表示（如多维矩阵或张量表示法），构建包含反应方程、分子属性、反应条件、催化剂等的多层次数据结构，开发多尺度多相反应方程及生物合成和催化反应数学仿真工具，实现基于反应方程路径描述的专用大模型训练集的规模化生成能力。

（3）通过低维映射等合理方式，依托基座大模型的参数水平，构建专用大模型；形成多维输入功能的模块化功能平台，对应反应步骤、产物等多层次的参数微调接口。

（4）利用组合数学、图论、随机微分方程及拓扑数据分析等方法，探究复杂药物生物合成途径的适配性规律，辅助设计合成路径的关键反应序列方程组并建立相关数学反问题；协助提升专用大模型在层次化模块化的超参数调优能力。

（5）通过最优控制技术优化反应方程参数，依托专用大模型的预测能力，开发生物合成途径与催化反应设计完整流程体系，为复杂药物的合成提供全面支持。

考核指标：

（1）标准化向量表示的分子库描述反应数量不低于 1 万种，建立可计算百万至千万规模分子的多尺度多相反应方程，为专用大模型开发提供数据支撑。

(2) 开发的数学仿真工具实现对复杂药物生物合成全流程的高效模拟和预测，构建不少于 3 层次的方程结构，形成能够准确反映不同反应条件和分子变化对合成路径和产物的标准预训练数据集合。

(3) 迭代优化 AI 专用大模型，实现全流程生物合成反应过程的预测；实现模型精度提升 30% 以上，有效提高模型对复杂药物合成路径的识别和预测能力，使 AI 模型在指导实际生物合成过程中的表现更为精准和稳定，增强其在复杂系统中的适应性和推广能力。

(4) 基于开发的数学模型和仿真工具，进一步在多层次角度调优大模型的相关参数，成功应用于至少 1 种长路径复杂药物（如萜烯类、甾体类或生物碱类等）的合成路径设计与优化。实现合成路径预测准确度达到 30%，显著缩短仿真时间至以周为单位，同时提升计算效率 70% 以上，为复杂药物的快速开发提供高效支持。

关键词：合成生物学；AI 大模型；多尺度反应参数调优；随机微分方程；复杂生物合成途径；国际合作

4.7 基于空地机器人群体智能协同的输电铁塔无人化组塔关键技术联合研发（共性关键技术类）

研究内容：针对输电铁塔建设工程复杂地形运输困难、传统山区组塔技术效率低、人工登塔安装风险高等突出问题，突破复杂场景下的多无人机+机器人自主协同组塔技术，形成基于多无人机智能协同吊装和机器人自主安装的输电铁塔无人化组塔能力。具体包括：适应无人机组塔的铁塔分段优化设计技术，适应无人机吊运和机器人安装的铁塔塔段接口技术；重载无人机组塔协同飞行与柔性吊装控制技术，

复杂环境下无人机吊装塔段精准对位技术；输电铁塔塔段连接点螺栓孔机器人精准识别与高精度定位技术，机器人自主安装与紧固螺栓技术；适应多无人机协同吊运的吊具研发，基于多无人机+机器人全自主协同组塔技术研究，完成不少于两基输电线路铁塔的工程示范应用。

考核指标：

（1）形成适用于无人机协同吊装和机器人紧固的铁塔分段优化与输电线路直线角钢塔模块化设计技术，塔段接口的就位精度不低于 2mm。

（2）验证无人机协同吊装组塔系统的吊装控制与精确对接技术，起吊重量不低于 1000kg，协同起吊工况平均单机载重效率不低于 85%，无人机协同吊装组塔塔段对接误差不超过 30cm。

（3）验证组塔机器人高精度定位与自主安装技术，满足输电铁塔角钢塔塔身 M24 及以下螺栓自主安装与紧固功能，拧紧力矩不小于 400N·m。

（4）验证基于多无人机吊运+机器人全自主协同组塔技术，在国内和海外电力工程中分别完成不少于 1 项示范应用，整体技术成熟度达到 7 级。

（5）依托国际合作，申请发明专利不少于 5 项（其中国际专利不少于 1 项），中外联合发表高水平学术论文不少于 3 篇。

（6）与不少于 2 家国（境）外团队开展对外交流、研讨不少于 3 次。

关键词：无人机；协同吊运；组塔机器人；国际合作

4.8 AI 驱动下微电网集群支撑高比例新能源大电网稳定

运行国际合作研究（示范应用类）

研究内容：针对碳排放约束下微电网集群内部协同调控难，外部与高比例新能源大电网协同运行难应用需求。研究微电网集群与大电网协同平衡稳定机理，开发 AI 驱动下微电网集群支撑大电网平衡稳定调控系统，具体包括：数据-知识混合驱动下微电网集群支撑大电网运行的安全稳定规则提取技术；融合多模态深度学习模型的微电网集群多时空调控能力动态推演技术；碳约束下支撑大电网稳定运行的微电网集群多智能体分布式协同调控技术；基于知识推理的微电网集群支撑大电网多场景互动博弈交易决策技术；微电网集群支撑大电网稳定运行成套装备研发及工程示范。

考核指标：

提取的安全稳定规则能够协助微电网集群支撑大电网安全稳定运行，精度大于 90%；研发微电网多时空调控能力动态推演软件，推演颗粒度小于 5 分钟，日前/日内推演精度分别达到 90%和 95%以上；研制微电网智能体边缘装置，边缘 AI 算力不小于 5 TOPS，智能体间通信延迟小于 5ms，分布式调控决策时间小于 1 秒；研发微电网支撑大电网多场景互动交易软件，可参与调峰、调频等多市场交易，交易策略优化时间小于 1 分钟；开展微电网与大电网协同的示范工程建设，建设微电网优化控制示范点数量不少于 30 个，微电网集群协同控制示范点数量不少于 10 个，示范区调峰能力提升 20%，调频能力提升 10%；与国外合作方联合培养人才不少于 4 人，中外合作国际交流研讨线下会议次数不少于 2

次，中外联合发表高水平论文不少于 5 篇。

关键词：AI 驱动；微电网集群；安全稳定机理；分布式协同调控；交易决策；国际合作

4.9 基于大模型与具身智能耦合的机场跑道管养机器人系统自主决策关键技术联合研究及示范应用（示范应用类）

研究内容：面向机场跑道管养智能化、自主化升级的重大需求，本指南系统布局协同感知、智能决策、自主学习与系统示范四大核心环节，研究基于大模型与具身智能耦合的机场跑道管养机器人自主决策关键技术，具体包括：面向机场典型场景的多模式机器人全场景高效协同感知技术；基于多模态感知与联邦学习的跑道管养大模型构建及智能决策技术；基于具身反馈的自主进化学习与大模型动态优化技术。在此基础上，开展机场跑道智能管养全链路闭环验证与国内外应用示范，全面支撑机场跑道重大基础设施高安全、长寿命、低成本运维模式的转型升级。

考核指标：

（1）研制面向机场道面全生命周期运维场景的多模式机器人系统样机 1 套（不少于 2 类），机场跑道缺陷及异常可感知类型不少于 5 类；

（2）建立基于大模型的跑道管养智能优化决策机制，支持不少于 5 类典型管养任务的自主决策，决策正确率 $\geq 90\%$ ；

（3）实现机器人系统在真实作业过程中的自主学习与决策能力演进，多机器人协同感知执行效率较初始提升 $\geq$

20%，跑道管养智能决策失误率较初始下降 $\geq 30\%$ ；

（4）依托国际合作，中外联合发表高水平论文 10 篇以上，申请国际 PCT 专利 3 项以上，牵头或参与制定相关技术标准 1 项，在不少于 3 个国家（或地区）20 个以上机场开展应用示范，主办/承办对外交流或专题研讨会议 2 次，引进（含柔性引进）关键技术人员 3 名。

关键词：机场跑道管养；大模型；具身智能；协同感知；优化决策；自主学习；国际合作

4.10 面向“一带一路”国家的 AI 智能气象预报应用示范（示范应用类）

研究内容：本项目围绕“一带一路”沿线重点国家在极端天气频发背景下的防灾减灾需求，依托我国自主研发的 AI 气象大模型体系，开展面向“一带一路”等重点国家的气象灾害智能预警技术应用示范，推动全球气象预报技术的发展。具体内容包括：一是构建全球多源异构数据融合平台，集成卫星遥感、地面观测、雷达回波等多种气象数据资源，增强目标国家对极端天气事件的实时监测能力；二是针对目标国家典型气候特征与灾害类型，对 AI 气象大模型体系进行适应性优化，提供符合目标对象需求的中期次季节气象预报产品；三是开发基于卫星的全球雷达补全技术，实现区域级智能气象极端天气监测预警一体化系统，助力强对流等主要灾害类型的早期识别与动态预警，并通过可视化平台辅助监测设备落后国家，向政府决策部门和公众提供及时、准确的预警信息；四是推动技术成果落地转化，开展面向当地气

象技术人员的系统操作与维护培训，提升其在 AI 气象建模、数据分析和灾害应对方面的专业能力，探索政府-企业-科研机构多方协同的合作机制，结合政策引导与市场化运营模式，形成可复制、可推广的国际合作范式。

考核指标：

（1）收集覆盖全球的多源异构大气海洋原始观测资料，至少涵盖卫星、雷达、站点、探空等多类观测数据，数据源至少 10 种及以上；

（2）基于国产气象大模型，研发全球高分辨率中期次季节一体化预报大模型，次季节预报能力较传统方法提高 10%以上，时空分辨率达到逐 6 小时全球 25km；

（3）开发基于卫星的全球雷达补全技术，实现技术落后或地理复杂区域实现雷达监测的能力；

（4）在不少于 2 个共建“一带一路”国家完成 AI 气象预警系统的部署并稳定运行半年以上。

关键词：AI 气象预报；气象灾害预警；一带一路；应用示范；国际合作

5.量子科技

5.1 长基线原子干涉精密测量国际合作研究（基础研究类）

研究内容：通过国际合作共同探索长基线原子干涉仪（VLBAI）大型科学装置科学应用、联合测量合作机制，提升关键单元技术指标，实现长基线原子干涉仪高精度测量，具体包括：提出以中方牵头的 VLBAI 国际合作计划，推动 VLBAI 全球联合测量；研究真空内置振动隔离技术、可拓展

型大长径比磁屏蔽技术；研究基于双组分超冷原子、大自由演化时间、大动量转移的高精度长基线原子干涉仪；研究交流斯塔克频移等系统误差评估方法；交流长基线原子干涉设施建造、管理、科学研究和国际合作经验。

考核指标：建立 10 米级原子干涉仪全球联合测量合作机制，制定联合测量技术方案、工作流程、数据处理方法的统一标准，开展联合测量；真空内置反射镜振动噪声抑制水平达到 $\sim 10^{-9}\text{g/Hz}^{1/2}$ ；可拓展型大长径比磁屏蔽长 6 米，残余磁场起伏小于 5nT；双组分原子干涉仪自由演化时间大于 2.6s，大动量转移光子数不小于 24 个，100nK 双组分超冷原子源数达到 2×10^6 个，光频移系统误差评估达到 2×10^{-12} 。

关键词：长基线原子干涉仪；精密测量物理；大动量转移；磁屏蔽；超冷原子；国际联合测量

5.2 量子计算操作系统和云平台建设国际合作研究（基础研究类）

研究内容：面向量子计算平台，突破高效、硬件感知与异构协同的量子编译核心技术，发展支撑算力规模扩展与跨平台部署的统一的量子编译系统；研发面向中大型 NISQ（Noisy Intermediate-Scale Quantum）芯片的智能校准系统；研发具备自动化、标准化和平台级集成能力的测评认证系统；构建量子计算与超算融合架构与系统；促进量子计算云平台的可持续建设。具体包括：开发高性能量子编译优化算法，提高线路保真度的同时降低编译时间；开发跨 QPU 分布式编译与通信调度机制，实现多处理器协同量子计算；开发量子计算资源管理与调度机制，能够高效协同异构量子计算资源；研究开发统一的量子编译系统，支持任务调度、资

源管理、异常处理及状态监控，实现中性原子、离子阱与超导量子计算平台的协同使用与资源共享；建立适配中性原子、离子阱和超导芯片的量子比特拓扑抽象模型，开发通用量子资源虚拟化管理技术；研究基于异构量子芯片的统一编译与优化算法，包括量子线路映射、门操作调度、量子比特重排优化及容错编译策略；构建云端量子编译与优化平台，开发通用 API 接口，实现多种量子硬件平台的统一接入与管理；建立完备的校准优化模型，融合统计学习、人工智能算法与智能控制技术，突破当前制约量子算力实用化的关键技术瓶颈，构建具备高精度、自动化、自适应特性的量子控制参数优化系统；研发具备自动化、标准化和平台级集成能力的测评认证系统，覆盖多类型量子门与噪声机制，支持云端一键测试、全流程数据分析和多维性能反馈；研究开发融合量子计算与超级计算的混合式计算体系，并构建相应的软件支持系统；开发能够将量子计算任务分配到多个节点并执行的运行环境；规划并实现适用于混合计算体系的高效编译系统；探索结合量子算法结构特征的抗噪策略设计方法，推动当前受限于噪声的中等规模量子计算设备更有效地执行任务；研究量子纠错与错误缓解的协同机制，探究“底层纠错+上层缓解”的混合策略，在中期量子设备上实现更优的精度-资源平衡；在中等规模的原型平台上，通过对比实验评估各类策略的有效性，建立抗噪性能与资源消耗的关系模型，以指导未来系统的协同设计。

考核指标：

（1）实现高效超导体编译器：在测试线路集（百量子比特、 ≤ 1000 两比特门、 ≤ 500 层）上，平均单线路编译时

间 $\leq 3s$ ；批量编译 500 个线路时，总吞吐量 ≥ 30 线路/分钟；支持大规模量子线路分布式编译：能够实现 200 量子比特线路在 ≥ 3 块量子芯片间的分布式计算；能够同时管理和调度的量子芯片数量 ≥ 5 ，量子计算资源平均利用率 $\geq 50\%$ ；支持不少于 500 个中性原子和 50 个离子量子比特的统一管理，编译时间百比特量级小于 1s；量子比特拓扑抽象模型能够涵盖中性原子、离子阱与超导芯片的多种拓扑结构；统一量子编译与优化算法的线路映射准确率高于 98%，量子门调度与量子比特重排策略的编译效率提升不少于 15%。

(2)量子计算平台校准系统实现支持 20+比特规模的智能校准系统，能够在模拟环境中自动优化校准精度；量子芯片基准测试工具需具备全栈适应性和高度集成，不少于 20 项核心指标（如 RB、量子体积、门误差等），支持自动数据采集与报告；噪音表征工具至少 10 项指标，覆盖多类型噪声，兼容云端和本地，支持主流编译器和 1 个平台无缝部署；所有结果支持自动化报告和第三方验证，保障平台长期稳定可靠运行。

(3)实现量子设备与经典设备的无缝协作，确保支持大规模混合任务的高效分解与执行能力；在不少于 2 个真实应用场景（如量子优化、机器学习等）中开展系统性能测试，并收集相关数据，完成分析报告。

关键词：量子计算云平台；量子—经典融合计算；量子芯片校准；量子线路优化；分布式量子计算；国际合作

5.3 第二代基于量子增强的空间引力波探测合作研究（基础研究类）

研究内容：

针对目前空间激光干涉引力波天线散粒噪声的限制及探测灵敏度进一步提升的需求，通过国际合作研究下一代基于量子压缩态注入的空间引力波探测新技术，具体包括：基于压缩态注入的空间引力波探测系统的详细设计方案；高可靠性超低噪声星载 1064nm 单频窄线宽激光器及光放大技术的开发；基于 PPLN 晶体的小型化低频压缩态生成系统及高效率平衡探测压缩态检测技术的开发；散粒噪声极限的高精度光粘干涉仪及相位计技术研究；压缩态注入量子增强空间激光干涉测量技术的演示实验。

考核指标：

(1) 星载窄线宽激光器演示验证，中心波长 $1064\pm 1\text{nm}$ ，线宽小于 2kHz，输出功率大于 2W，功率稳定性优于 10^{-3} 。

(2) 压缩态生成与检测系统演示验证，量子压缩态的压缩比不小于 3dB (@0.1Hz)，压缩比探测灵敏度优于 10dB (@0.1Hz)。

(3) 光粘干涉仪演示验证，测量精度优于 $1\text{pm}/\text{Hz}^{1/2}$ (@0.1Hz)，相位计检相误差小于 $2\pi\times 10^{-6}\text{rad}/\text{Hz}^{1/2}$ 。

(4) 量子增强星间激光干涉演示验证，散粒噪声压制不小于 2dB (@0.1Hz)。

(5) 邀请国外专家来华访问不少于 5 人次，召开线上双边学术研讨会不少于 2 次，组织线下双边学术会议不少于 1 次。派遣国内科研人员前往国外访问学习不少于 5 人次。

(6) 中外合作发表高水平论文不少于 2 篇，申请发明专利不少于 3 项（其中国际发明专利 1 项）。

关键词：第二代空间引力波探测；压缩态注入；散粒噪声；国际合作

5.4 新型大冷量稀释制冷机合作研发(共性关键技术类)

研究内容：针对大规模超导量子芯片运行所需的冷量、互联需求，研发下一代新型、大功率、大空间稀释制冷机，保障数千比特或更多超导量子芯片运行，具体包括：大冷量极低温稀释制冷技术；气体处理系统（GHS）；大冷量稀释制冷机恒温器技术；脉管制冷技术；高效的气隙热开关技术；极低温烧结换热技术；全温区器件有效互联技术；极低温测控技术等，实现大冷量稀释制冷机稳定可交付与产品化，满足量子计算实用需求。

考核指标：

（1）提供接近绝对零度的极低温环境，制冷机空载最低温度不超过 14mK, 空载 100mK 制冷功率不小于 3000 μ W。

（2）可容纳数千量子比特、可装载线缆数不少于 4000 条、混合室冷盘面积不小于 1.6m²。

（3）大冷量稀释制冷机具备全温区互联能力，门接口温区从 mK 级到 300K 全覆盖。

（4）脉管制冷机性能指标达到国际水平。

（5）合作开展制冷机空载性能、负载性能与稳定性测试，互访次数不少于 3 次。

关键词：稀释制冷机；全温区互联；脉管制冷；极低温测控系统；国际合作

5.5 半导体自旋量子比特操控与量子模拟合作研究（基础研究类）

研究内容：解决半导体自旋量子计算领域所面临的芯片设计与加工、高保真度自旋量子比特操控与读取等核心问题，合作开展基于半导体量子计算芯片的量子算法演示和量

子模拟研究。具体包括：通过分子束外延技术生长用于半导体量子计算的高品质一维锗硅量子线和二维锗硅量子阱结构，设计并制备出基于半导体锗硅系统的多自旋量子计算芯片；探索半导体自旋量子比特操控和读取的基本物理问题，实现高保真度多自旋量子比特门操控和高保真度自旋态读取，探索基于超导体配对耦合作用的自旋纠缠方案；基于半导体量子计算芯片开展量子算法演示和量子模拟问题研究。

考核指标：

（1）分子束外延生长一维锗硅量子线和二维锗硅量子阱的空穴迁移率分别超过 $5 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 和 $1 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{Vs}$ ，制备出用于构建多自旋量子比特的 16 量子点器件，设计出集成超过 100 个自旋量子比特的半导体量子芯片加工方案。

（2）实现半导体自旋量子比特的高保真度初始化、操控与读取，单比特量子门保真度超过 99.9%，两比特量子门保真度超过 99%，自旋量子比特初始化和读取保真度同时超过 99%，实现效率超过 95% 的库伯对分离以及基于库伯对分离的高保真度自旋纠缠态。

（3）基于多自旋量子比特芯片开展 Deutsch-Josza、Grover 和相位纠错等量子算法演示，基于半导体量子计算芯片开展包括多体系统相变、非厄密系统动力学演化等前沿物理问题的量子模拟实验。

（4）国际合作人员互访不少于 10 人次，召开相关国际研讨会 1~2 次（每次不少于 20 人），中外联合发表学术论文 5 篇以上，申请国际专利 2 项。

关键词：半导体自旋量子计算；锗硅量子点器件；高保真度自旋量子门操控；自旋纠缠；量子模拟；国际合作

5.6 量子计算机在能源行业的量子算法应用国际合作研究（共性关键技术类）

研究内容：与共建“一带一路”国家合作部署离子阱量子计算真机并建立量子算力基础应用平台，提供软硬件一体化产品，面向能源行业合作开发并测试验证一系列量子算法，实现量子计算机和量子算力在能源行业的应用案例示范探索合作研究，具体包括：针对电力能源行业中的电力调度、电网规划、电力现货交易等需要高性能算力的应用需求，研究开发变分量子本征求解器（VQE）和量子近似优化算法（QAOA）等多种量子变分算法，并在量子计算真机上运行验证；针对化石能源行业中的化学反应势能求解、催化过程模拟、大分子结构分析等应用需求，研究开发能够利用量子计算机真机运行的量子算法和量子线路。

考核指标：

（1）与至少 1 个共建“一带一路”国家联合部署离子阱量子计算整机，能够运行不少于 7 比特全连通量子线路，任意单比特保真度不低于 99.8%，7 比特中的任意 2 比特门保真度不低于 98%，能够运算量子线路层数不低于 30 层，整机额定功耗不高于 30 千瓦。

（2）部署量子计算云平台，具备远程算法提交功能，与量子计算真机连接延时不高于 1 秒，具备计算结果展示功能。

（3）面向电力能源和化石能源等行业的应用问题，开发不少于 1 种量子变分算法、2 种量子组合优化算法，并在量子计算整机上实际运行不少于 4 种、比特规模不少于 7 比特的量子算法，计算结果准确度不小于 80%。

关键词：离子阱量子计算；量子优化算法应用；量子线路运行；国际合作

5.7 高温太赫兹量子级联激光器国际合作研究（基础研究类）

研究内容：为突破高温工作条件下太赫兹量子级联激光器的技术瓶颈，通过国际合作加速技术研究与成果应用转化，具体包括：研究高温下激光器性能受微观散射机理影响的规律，优化激光器有源区设计；设计高增益、高温工作的有源区结构与波导结构，提高激光器效率与稳定性；研究分子束外延生长技术，确保亚纳米级精度多量子阱结构界面和厚度的控制；改进激光微加工工艺和热管理方案，提升器件性能，确保激光输出效率和可靠性；开发和搭建高灵敏太赫兹量子级联激光器性能测试平台，包括高精度的频率、功率及工作温度测试方法。

考核指标：

- （1）太赫兹量子级联激光器最高工作温度大于 220K。
- （2）激光器激射中心频点位于 2~5THz 范围之内。
- （3）10K 下激光峰值功率大于 1.5W, 200K 下激光峰值功率大于 1 μ W。
- （4）基于研制太赫兹量子级联激光器，实现至少 1 项典型应用。

关键词：太赫兹；量子级联激光器；高工作温度；激光热管理；分子束外延；国际合作

5.8 多元多体系先进混合计算平台建设合作研究（基础研究类）

研究内容：开展多元多体系先进混合计算的研究，包括

量子计算与超算、不同量子计算方案之间的融合。开展量子计算和超算融合的系统与算法应用研究，具体包括：量子—经典混合体系架构开发和算法设计、支持量超融合的统一编程框架和量子操作系统开发、量子测控系统和多比特集成的实验技术研究等，实现具有量子优势潜力的量子—经典混合算法的设计和实验验证。开展超导量子计算与自旋量子计算的融合研究，构建超导—自旋复合量子比特：基于半导体构筑与超导耦合的量子点，将局域的自旋态与宏观的超导谐振腔结合，既有超导量子比特的高可控性和易读取性，又具备半导体自旋量子比特的长寿命和低干扰性能，实现新型超导—自旋复合量子比特。

考核指标：

（1）构建出支持 200 量子比特的量超融合软硬件系统，并实现 2 种百比特规模的量子—经典混合算法的设计和实验验证。

（2）实现 1 种局域自旋与超导谐振腔耦合的方法，实现 1 类新型超导—自旋复合量子比特，其寿命优于 40 μ s。

关键词：量子—经典混合算法；量子计算；超级计算机；超导—自旋复合量子比特；国际合作

5.9 基于粒子全同性的量子相干资源保护及应用合作研究（基础研究类）

研究内容：研究粒子全同性对量子相干性的保护机制和量子关联的调控规律，发展基于全同性保护的开放系统高保真度量量子相干资源的制备方法。具体包括：粒子全同性的动力学演化对量子系统相干性和量子关联的调控机制；不同统计特性的粒子在与环境耦合时，系统退相干速率的影响机

制；全同性在长程量子信道中对量子系统相干性和量子关联的调控框架及应用。

考核指标：

（1）验证噪声环境中粒子不可分辨性对量子相干性的保护效应，实现相干性和量子关联的协同优化，实现不可分辨度的全域可调控，量子相干度不低于 0.98，相干态的保真度不少于 98%，资源粒子的统计特性不少于 2 种。

（2）刻画全同粒子的统计特性在噪声环境中对退相干速率的影响机制，其中的统计特性不少于 3 种，噪声类型不少于 3 种，噪声环境下相干态的保真度不低于 95%。

（3）实现全同粒子不可分辨性在长程信道中的传输，量子信道传输距离不少于 10km，传输后的量子相干资源的相干度不少于 0.95，相干态的保真度不低于 95%，量子关联态违背贝尔不等式不低于 8 个标准差。

（4）中外联合发表论文不少于 3 篇，互访不少于 3 次。

关键词：全同性；量子关联；开放系统；相干保护；量子信道；国际合作

5.10 国际金融银行业典型交易业务抗量子迁移的关键技术验证与应用示范（应用示范类）

研究内容：针对金融银行业典型应用场景需求，开展国际金融银行业互联互通抗量子迁移的关键技术验证与应用示范。围绕典型国际交易和国际结算业务，开展抗量子密码迁移技术的国际交流合作。

考核指标：

（1）中外商业银行抗量子迁移指南规范 1 份（国际行业指南、规范、标准草案）。

(2) 中外商业银行抗量子迁移体系架构，支持国际银行业手机银行、网上银行、跨行结算等不少于 3 种典型应用场景的 PQC 算法、软硬件实现、通用协议/银行专有通信协议敏捷性迁移设计方案的验证；支持我国 GB/T20518-2018 证书和 X.509 国际证书标准。

(3) 推动成立国际商业银行抗量子迁移联盟；国际人员互访不少于 10 人次；召开有相关国际金融组织参加的金融抗量子密码迁移的国际专题研讨会不少于 3 次；申请国际专利不少于 3 项。

关键词：抗量子密码迁移；银行业；国际互联互通；国际合作

6.脑机接口

6.1 大模型赋能的脑机接口交互新范式合作研究（基础研究类）

研究内容：围绕精神心理疾病诊疗及风险预警的重大需求，结合先进的人工智能大模型与深度学习技术，突破大模型情感认知盲区与脑机接口语义解码瓶颈，建立大模型赋能的自然脑机语义交互新范式。具体包括：填补生物神经信号与人工智能模型间的语义鸿沟，建立更自然、更精准、更高效的双向交互范式；开发自然脑机语义交互新范式，以解决情感认知盲区和语义解码瓶颈；建立多场景脑机语义交互实验范式，采集脑电、眼动等多模态信号构建标准数据集；探索多感官刺激下脑信号与语义的耦合机制，基于国产大模型开发具有通用表征能力的脑机接口系统；搭建脑机协同平台验证多场景应用效果，通过大模型与人脑认知的类比建模，构建双向可解释性研究范式。

考核指标：通过多模态实验范式与大规模数据集构建，实现高精度情绪、视觉及语义解码，研发低功耗脑电大模型系统，并在多场景应用中验证其效能。开发 ≥ 3 种生态化语义脑机交互范式，构建 ≥ 1000 小时多模态脑电数据集；建立 ≥ 3 项生理+2项心理指标的综合评估体系，心理风险评估准确率 $\geq 85\%$ ；解码性能：跨视觉/听觉/触觉的多感官语义理解，实现情绪解码精度 $\geq 85\%$ ，视觉感知二分类准确率 $\geq 85\%$ ，40分类语义解码准确率 $\geq 20\%$ ，像素对齐 SSIM ≥ 0.3 ；系统研发：基于国产大模型的脑机接口系统，参数 ≥ 10 亿，功耗 $\leq 150\text{pJ}$ ，支持 ≥ 1024 神经元/65K突触，认知负荷识别准确率 $\geq 80\%$ ；应用验证：在 ≥ 3 场景、 ≥ 1000 人次中部署生态化语义交互系统并验证有效性。构建跨国多模态数据集（覆盖 ≥ 3 个国家），联合开发开源基准测试工具 1 套。

关键词：脑机接口；多模态大模型；语义解码；心理风险评估；国际合作

6.2 基于脑机接口的记忆增强闭环调控系统构建及验证合作研究（共性关键技术类）

研究内容：围绕记忆衰退人群（如神经退行性疾病高危/早期患者或自然老龄伴随者等）和记忆需求高的正常人员，合作研发多模态闭环脑机接口系统。研发沉浸式裸眼 3D 环境动态适配的记忆增强任务；采集多源生理数据，构建记忆增强训练多模态数据集；建立聚焦记忆增强任务的沉浸式认知交互平台，并进行应用验证与效能评估。具体包括：研发基于裸眼 3D 的记忆训练增强平台；设计多模态脑一体数据采集模块同步获取高密度脑电和脑氧活动信号，同时记录多维度体信号；刺激模块包括多种无创刺激模式；根据量效关

系建立个体化刺激参数体系，研发多模态高通量数据融合分析、特征提取技术，建立沉浸式训练与非侵入式调控倍增效应的提升方案，建立多种个体化闭环脑机融合渐进提升的记忆增强干预模式；在记忆衰退人群/神经退行性疾病高危人群中进行初步安全性验证与记忆增强效能评估，检验系统对延缓/改善记忆衰退的潜在临床应用价值与可靠性。

考核指标：构建基于脑机接口闭环调控的认知训练增强系统：训练任务难度可自适应调节的沉浸式认知训练增强场景；构建记忆增强闭环调控系统：开发 1 套多模态数据融合与智能调控软件系统。支持 DICOM、FHIR 等医疗数据解析格式；闭环调控决策指令生成 $<50\text{ms}$ 。构建脑机接口认知训练的多模态数据库（ >100 例），在中外双方各不少于 1 个中心验证闭环记忆增强效果。脑活动信号采集模态不少于 2 种，测量系统不少于 8 通道；无创刺激模式不少于 2 种；记录眼动、心电、呼吸等不少于 3 个模态生理信号，多传感器跨模态信号时间对齐误差 $<1\text{ms}$ 。开展跨文化认知训练对比研究，发布中外记忆干预效果差异分析报告 1 份。

关键词：脑机接口；闭环调控；裸眼 3D 系统；记忆增强；国际合作

6.3 基于无创脑机接口的神经退行性疾病早期筛查与干预系统构建及验证合作研究（应用示范类）

研究内容：合作研究基于无创脑机接口技术的神经退行性疾病（尤其是阿尔茨海默病）早期筛查标记与技术；采集多源生理数据，构建相关多模态数据集；建立融合无创脑机接口与神经刺激的干预技术范式，并在典型场景进行应用验证与效能评估。具体包括：基于脑机接口技术的神经退行性

疾病特别是阿尔茨海默病早期筛查标志物与评估范式研究，重点突破针对神经退行性疾病高危人群的高效无创脑机接口筛查方法；建立融合脑机接口信号与非侵入式神经刺激技术（如经颅磁刺激、经颅电刺激、光刺激等）的干预技术和个体化调控范式，发现新型脑机接口标志物、开发无创神经调控干预系统，建立个体化刺激干预调控方案。

考核指标：建立 1 套基于脑机接口技术的神经退行性疾病早筛技术。研发针对社区神经退行性疾病高危人群的“普筛+早筛+非药物干预”闭环的非侵入式脑机接口早筛个体化标记，筛查敏感性 $\geq 90\%$ 、特异性 $\geq 75\%$ 。开发 1 套融合脑机接口与非侵入式刺激技术的个体化干预范式并开展示范应用。构建基于个体化脑网络技术的干预靶点和关键参数设定方法，建立融合多模态影像技术的个体化干预靶点确定方法，定位精度误差 $\leq 3\text{mm}$ 。对于不少于 200 例高风险人群开展融合脑机接口与无创神经调控不少于 1 个月并评估其干预效果，性能不低于数字疗法认知训练。建立国际早筛联盟，共享筛查数据 ≥ 100 例/国。

关键词：脑机接口；神经退行性疾病；早期筛查；无创干预；国际合作

6.4 经颅聚焦超声调控脑淋巴系统功能并改善阿尔兹海默病的国际合作研究（基础研究类）

研究内容：围绕阿尔茨海默病（AD）中脑膜淋巴管（MLVs）与类淋巴系统功能障碍导致有毒蛋白清除效率下降的核心机制，开发多模态神经振荡—超声协同调控技术。具体包括：通过融合可编程听觉节律刺激、多靶点经颅交流电刺激（tACS）及影像导航经颅聚焦超声（tFUS）技术，精

准激活淋巴引流功能并优化脑脊液—间质液交换效率；建立基于个体化神经环路靶点定位、刺激参数自适应调整的闭环调控系统；结合多尺度生物标志物（ $A\beta$ /Tau 清除率）、神经影像及跨物种行为学评估，量化淋巴循环激活效果与认知改善关联；研发具备实时反馈的便携式干预装置原型，在国内外多中心开展从动物模型（5×FAD 小鼠）到 AD 患者的全链条验证，推动神经退行性疾病治疗新策略的临床转化。

考核指标：开发多模态神经振荡—tFUS 协同调控系统，支持睡眠/清醒双状态干预，集成听觉节律、tACS 及 tFUS 模块（超声频率 0.25–1.5MHz，聚焦精度 ± 1 mm，功率误差 $\leq \pm 5\%$ ），实现影像导航靶向定位、刺激深度/面积参数化控制，系统响应延迟 ≤ 100 ms；动物模型：tFUS 干预后脑内 $A\beta$ /Tau 清除率提升 $\geq 40\%$ ，淋巴引流功能提升 $\geq 30\%$ ，脑组织完整性保持率 $\geq 95\%$ ；临床验证：多中心队列（ ≥ 100 人 AD 患者）淋巴循环激活有效率 $\geq 85\%$ ，认知评分（如 ADAS-Cog）改善幅度 $\geq 20\%$ ；建立融合脑脊液生物标志物（ $A\beta_{42}$ /Tau/p-Tau）、动态对比增强 MRI 淋巴引流可视化、多维度认知行为量表的评估标准，生物标志物检测灵敏度 $\geq 90\%$ ，神经环路损伤评估误差 $\leq 5\%$ ；完成便携式干预原型设备开发，通过医疗器械电磁兼容性和安规检测，形成核心技术发明专利 3 项，制定技术操作共识 2 份；临床干预中严重不良反应发生率 $\leq 1\%$ ，动物模型无出血/炎症并发症。完成多国医疗器械注册路径对比研究，制定国际化技术转化指南 1 份。

关键词：经颅聚焦超声；阿尔兹海默病；脑淋巴系统；脑代谢废物清除；动物模型；神经调控技术；国际合作

6.5 光干预调控脑认知原理、方法和技术合作研究（基础研究类）

研究内容：围绕无创神经调控技术创新瓶颈，致力光调控记忆原理研究，开展光调控人脑认知原理解析研究并研发无创脑认知智能光调控设备。具体包括：结合先进人脑影像技术，在微观、介观及宏观尺度上全面解析光调控人脑认知的神经生物学机理，获取并明确光调控脑功能和认知能力的关键参数信息；融合可穿戴成像技术（如频率近红外脑功能成像），研究光调控与神经信号变化耦合模型，研发基于神经信号的个性化光调控神经反馈技术；开发智能可调的光调控特定认知能力原理样机，并开展针对阿尔茨海默病等群体的认知提升验证研究。

考核指标：多模态脑影像验证光调控对 ≥ 2 个脑区/网络神经活动的影响，绘制时空图谱；量化 ≥ 3 个光调控关键参数对认知效果的作用，建立参数一效应数学模型；完成新型无创光调控方法的原理验证及参数优化；建立光调控参数数据库（覆盖 ≥ 2 种认知能力）；研制智能光调控原理样机，通过实验室功能验证；开展早期 AD 患者预实验（ ≥ 100 人 AD 患者），提交安全性及有效性报告；开发融合可穿戴传感的神经反馈算法，实现 ≥ 1 种认知状态（如专注度）的实时监测及闭环调控演示。举办光调控国际训练营，培训国外技术人员 ≥ 20 人。

关键词：神经调控；光生物调节；神经反馈；可穿戴成像技术；国际合作

6.6 孤独症诊疗无创脑机接口系统合作研究（基础研究类）

研究内容：针对孤独症诊断缺乏客观生物标志物和精准调控靶点的难题，基于脑机接口技术研究脑功能网络异常与孤独症的神经环路机制，建立基于多模态数据（如脑电、功能磁共振）的可量化神经生物标志物识别方法，揭示神经调控靶点与生物标志物的映射关系，推动孤独症的客观诊断与个体化干预。解析孤独症亚型的特异性神经标记物及其动态变化规律，探究神经调控靶点与症状的关联；开发基于深度学习的孤独症评估大模型，实现全病程智能检测与疗效预测，构建刺激参数—脑网络响应—临床效果的定量模型，支持自适应干预；研制高精度可编程神经信号采集—刺激系统，集成微型电极阵列与实时信号处理平台，突破闭环调控技术瓶颈。

考核指标：基于结构像和功能像，诊断敏感性 $> 80\%$ ，特异性 $> 75\%$ ；建立不少于 3 类临床应用场景的基础大模型，该基础大模型参数量级不低于 10 亿参数，支持自动化处理开源/专有数据集不少于 10 个，大模型评估准确不低于 80%。采集、刺激通道数不少于 32，采样率 $\geq 1000\text{SPS}$ ，电刺激器刺激深度 $\geq 8\text{cm}$ ，电刺激器支持刺激电流、刺激频率和刺激深度个体化自定义；在包括家庭、社区、学校、医疗机构等不少于 4 个场景开展。系统通过医疗器械电磁兼容性和安规检测。

关键词：精神疾病；脑机接口；个体化诊疗；大模型评估；闭环神经调控；神经调控电刺激器装备；国际合作

6.7 多模态神经调控技术合作研究（应用示范类）

研究内容：针对电刺激或磁刺激等单一模式方法的局限性，发展多种物理因子的神经调控技术，可以更好地靶向和治疗脑部疾病。具体包括：认知功能评估技术，实时捕捉脑节律活动的微小变化发现早期认知障碍的症状。结合实时脑电监测发展闭环神经调控技术（如 tDCS 和 TMS），开发个性化的脑电磁调控方案，通过实时监测患者脑电活动，自动调节神经刺激参数，精确调控患者的认知功能，优化治疗效果。开发一种能够增强神经可塑性和脑功能重塑的无创深部神经调控技术，通过刺激特定深部脑区（海马，杏仁核等），恢复认知功能，延缓脑认知障碍的进展。开发融合神经刺激和认知训练的脑认知调控技术，提升患者的执行功能、记忆力、注意力等认知能力。

考核指标：脑认知评估的准确性达到 90%以上，能够有效识别认知障碍早期症状，尤其是在轻度认知障碍（MCI）患者中的敏感度不低于 85%。无创神经调控系统能够在 12 周内提高患者的认知评分至少 10%，且能有效延缓认知障碍进展。通过无创神经调控技术和智能评估工具的应用，患者治疗成本降低 30%以上。

关键词：脑机接口；闭环调控；神经调控；国际合作

6.8 低强度脉冲超声刺激自主神经的调控血压技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：研究通过低强度脉冲超声（LIPUS）非侵入性和可逆性地调控迷走神经或肾交感神经等技术，进而调节血压状态。具体包括：通过动物实验，确定低强度脉冲超声干预低血压状态的最优靶点、刺激方式以及作用机理，分析

不同超声参数（如更高脉冲重复频率、特定占空比）对颈动脉窦压力感受器或者靶向脊髓交感神经节刺激的有效性；研制可便携、可穿戴、可连续应用和高续航的低强度脉冲超声（LIPUS）设备，连续使用时间超过 24 小时；研究闭环反馈刺激方式，结合实时血压监测，动态调整 LIPUS 强度，实现智能化血压维稳；基于大模型生成技术，开展仿真试验，并在真实动物模型上进行安全性验证，确定系统的安全性和有效性。

考核指标：确定低强度脉冲超声干预低血压状态的最优靶点、刺激方式，使设备可提升收缩压的最低阈值不低于 40mmHg，可维持 $\geq 90\text{mmHg}$ 达到 10 分钟；低强度脉冲超声设备声强不高于 $<3\text{W}/\text{cm}^2$ ，在无外接电源情况下，可连续使用不少于 24 小时；实现闭环反馈刺激方式，结合实时血压监测，动态调整 LIPUS 强度，使血压波动不超过 10mmHg；开展不少于 10 例的动物实验，构建人体仿真平台，验证系统的安全性和有效性。完成野外急救国际联合演练 ≥ 2 次，制定应急使用国际手册。

关键词：低强度脉冲超声；自主神经调控；闭环反馈刺激；国际合作

7.深海

7.1 全球深海冷泉生态系统保护和利用合作研究（基础研究类）

研究内容：通过联合航次、样品和数据共享等国际合作，开展深海冷泉生态系统多源数据整合，进行关键区域生物多样性比较研究和资源挖掘利用研究。具体包括：针对南北美洲陆架区、北极等冷泉调查相对薄弱区域和地中海冷泉等代

表性冷泉区域，联合相关国家与机构开展数据共享与整合工作，建立涵盖三维地震、地形地貌及水体甲烷羽流数据的代表性冷泉多源信息数据库，绘制陆架区代表性冷泉区域图集；选取美洲陆架区、地中海、北极陆架区的典型冷泉，通过联合调查、数据共享等方式，研究不同地理区位、不同成因和活动强度的冷泉生物群落结构及环境塑造机制，揭示水深、温度、甲烷、溶氧等环境因子对冷泉生物多样性的耦合影响，合作研究气候变化与人类活动对冷泉生态系统的影响；建立冷泉微生物和大型生物资源库，开展基于人工智能技术的冷泉新功能基因资源挖掘；共同研讨并提出冷泉生态系统生物多样性保护与管理的主要科学依据，为全球冷泉生态系统的保护政策提供指导和参考。

考核指标：

（1）建立国际合作的陆架区代表性冷泉多元信息数据库，整合和共享不低于 5 个重点区域的地质特征、水体羽流、生物多样性等观测数据，数据量不少于 100Tb，绘制代表性冷泉区域高精度图集（覆盖范围不小于 10 平方公里/区域），指导国际联合航次的实施。

（2）在 2 个以上代表性冷泉区域（如美洲陆架、地中海、北极）开展生物多样性联合调查航次，采集不少于 200 号以上大型生物样本，鉴定 20 种以上新物种；通过综合采样、视频识别、环境 DNA 检测等手段，揭示冷泉生物种类组成及群落结构，建立冷泉物种信息库（涵盖真核生物信息 500 条以上）；建立 1 套基于人工智能方法预测的冷泉生物基因数据集（涵盖去冗余基因集不小于 5 亿条），针对几丁质降解、甲烷氧化等过程的功能酶，预测获得新结构基因不少

于 100 个；建立样品共享机制，推动全球冷泉科学研究共同体的合作和资源利用。

（3）研究调查区域关键环境要素与冷泉生物多样性之间的耦合关系，建立 3 种以上环境因子（如水深、温度、甲烷、溶氧、硫化氢浓度等）耦合的冷泉微生物代谢模型；开展原位实验，定量 3 种以上不同氧化还原环境的甲烷转换速率，揭示甲烷生物转换路径；提出冷泉生态系统理化环境一个体代谢—生物多样的耦合关系。

（4）围绕冷泉生态系统理化环境一个体代谢—生物多样的耦合关系，提出冷泉生态系统保护与管理的核心策略建议，推动其在相关国际或地区性保护规划中的实施应用。

关键词：冷泉；陆架区；甲烷羽流；生物多样性；生态保护；国际合作

7.2 深海微生物组与生态系统合作研究（基础研究类）

研究内容：通过国际合作，系统研究重点深海（如深渊、极地海洋等）微生物组的遗传和功能多样性及其时空变化和调控因素，揭示深海微生物在元素耦合循环和极端环境适应方面的核心功能及其调控和响应气候变化的内部机制；构建以深海微生物基因资源为主导的资源利用开发平台，挖掘深海微生物资源的应用潜力。具体包括：以微生物多组学技术（基因组学、功能基因组学、转录组学、蛋白质组学、代谢组学等），在全球尺度上深度解析深海微生物的遗传和功能多样性；阐明深海微生物的能量代谢过程和机制，以深海惰性有机碳（如含卤惰性有机碳）的产生和代谢过程为突破口，解析深海微生物介导的元素耦合循环过程和机制，探究深海微生物在气候变化调节方面的贡献和主要机制；深入研究深

海生态系统，不同类型生物（原生生物—细菌—病毒）之间相互作用、能量流动及协同演化的方式；建立个性化的深海微生物分离与培养技术体系，包括海洋生物—共生微生物的共培养方法以及针对深海未（难）培养微生物的创新培养技术，提高深海微生物的可培养性，构建深海微生物菌种、功能基因和天然产物库；联合国际团队整合功能基因注释与天然产物 AI 预测模型，建立深海微生物资源预测与验证的研究体系；深入研究深海微生物适应极端环境（如耐高压、嗜冷、有机碳可用性等）的关键分子机制，从不同代谢水平（基因、转录、代谢和通量）进行挖掘具有潜在应用价值的深海微生物功能酶和活性天然产物，并进行应用潜力评价。

考核指标：

（1）组织/参与跨洋国际联合科考 ≥ 2 次（覆盖多个大洋、极地等海域），获得深海环境样品 ≥ 200 个，所涉合作国家 ≥ 2 。

（2）系统解析重点深海环境（如深渊海沟）在全球不同海域的组成和功能结构差异，时空演替研究应不少于跨大洋的 3 个典型海域和 2 个时间尺度。

（3）围绕至少一类典型的深海惰性有机碳（如含卤有机物等），通过多学科交叉合作，在全球尺度上解析其介导的多元素耦合的生物地化过程，阐明深海微生物通过该过程对全球气候变化调控的贡献和机制。

（4）构建深海微生物菌种库（ ≥ 3000 株）；完成 ≥ 1000 个深海微生物纯菌株高质量基因组草图；建立功能基因库（ ≥ 50000 个基因），天然产物结构数据库（ ≥ 1000 种化合物）。

（5）构建多组学数据库（含 ≥ 10000 个基因组、转录组、代谢组数据），开放共享至国际平台；开发功能基因、天然

产物等 AI 预测模型，准确率 $\geq 80\%$ （通过实验验证）；与 ≥ 2 个国际团队合作开发开源算法（如深度学习驱动的基因簇挖掘工具）。

（6）基于合作样品，挖掘鉴定 ≥ 20 个高压/嗜冷关键功能基因或通路，其中 ≥ 5 个通过基因敲除/异源表达验证；解析 ≥ 10 种极端适应相关代谢网络模型（基因组尺度代谢模型）；开发 ≥ 5 种极端酶（如低温酶、耐压酶等），申请国际专利 ≥ 3 项。

（7）建立 1 套个性化的深海微生物分离与培养技术体系，并在国际大会上发布。

关键词：深海微生物组；极端环境适应；多组学整合；惰性有机碳代谢；模拟培养；国际合作

7.3 高速水声通信与动态图嵌入式组网关键技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：针对高速水声通信装备可靠性与大规模组网泛化能力的难题，联合开展高速移动水声通信样机研制与动态图嵌入式组网系统的研发，提升装备在复杂海洋环境下的可靠性，并建立具有全球适应性的智能组网验证体系，为构建新一代水下通信网络奠定技术基础。具体包括：与国际专业智能信号处理与图嵌入式技术优势研发单位合作，开展模型与数据双驱动的高速水声通信物理层算法、水声通信动态图嵌入式组网接入协议和水声通信动态图嵌入式组网路由决策算法的研究；依托合作双方的智能算法验证测试系统以及海试试验场等实验设施，联合推进高速水声通信样机的研制与大规模水声通信网络仿真模拟系统的研发，实现物理空间有限水声通信节点链路泛化推理至大规模水声通信组网

系统，形成水声通信与组网技术研究新范式。

考核指标：

（1）研制水声通信机不少于 10 台，支持树型、星型典型拓扑组网。

（2）水声通信机尺寸直径不大于 100mm、长度不大于 350mm。

（3）水声通信用户通信速率和通信距离不低于 3kbps@5km，通过海试验证。合作双方提交水声通信智能信号处理算法设计分析报告≥1 份。

（4）节点最大支持通信跳数不低于 5 跳，通过海试验证。

（5）组网平均端到端时延不大于 20s@3km，通过海试验证。

（6）作用距离不低于 3km 情况下水声通信链路误码率不高于 10^{-3} ，误包率不高于 10^{-1} ，通过海试验证。

（7）建立基于图嵌入式的大规模水声通信与组网模拟仿真系统，支持不少于 500 个节点的组网模拟，合作双方提交水声通信动态图嵌入式网络接入协议和路由策略算法设计分析报告≥1 份。

（8）申请发明专利不少于 8 项。

关键词：水声通信；水声通信网络；图嵌入式；国际合作

8. 极地

8.1 基于观测与多圈层耦合地球系统模式的北极冻土退化污染物和温室气体释放的环境风险与气候效应国际合作研究（基础研究类）

研究内容：开展北极多圈层耦合地球系统模式研制，结合长期多年冻土区温室气体和污染物排放监测、极地气候变化及生态环境风险评价，开展相关国际合作研究。具体包括：

（1）建立北极典型退化多年冻土区的长时间观测试验站，开展有机碳、氮素以及持久性有机污染物和汞等温室气体和污染物释放的观测和取样分析；获取退化冻土区土壤温度升高、多年冻土层解冻后，土壤温度水分的变化，微生物代谢过程演变，碳、氮及污染物的时空演变、迁移转化及输出特征，主要碳氮温室气体物质循环过程，量化冻土区污染物二次释放的环境效应和温室气体释放的气候效应；结合多源高分遥感技术，开展北极典型退化多年冻土区长期环境演变过程研究，构建长时序高分辨率的冻土地表形变、植被覆盖和土壤水热数据，为环境风险评估和气候影响提供基础数据支撑。

（2）研制北极气—冰—海—冻土多圈层耦合地球系统模式，开发针对北极退化冻土碳氮等温室气体及污染物释放的生物地球化学物质循环过程模块。

（3）开展北极退化冻土敏感扇区陆地—海洋—海冰—大气物质循环及敏感性试验，探讨北极气—冰—海—冻土多圈层耦合机制及其级联效应，量化温室气体排放的气候变化失控影响，制定适应性测量和跟踪评估机制。

考核指标：

(1) 合作开展不少于 2 站次，连续观测获取退化冻土区土壤 5 层及以上温度、土壤水分等，以及 5 种以上大气和冻土中碳氮等温室气体及污染物释放和变化的基础数据和样品，获得过去至少 15 年以上北极典型退化多年冻土区的地表形变、植被覆盖和土壤水热数据，获得北极冻土退化区演变的基础环境以及有机碳、氮素以及持久性有机污染物和汞等温室气体及污染物释放的观测和取样分析数据，各站观测数据时间不少于 1 年，观测数据完整率不低于 90%。

(2) 联合研制北极气—冰—海—冻土多圈层耦合地球系统模式，新开发针对北极退化冻土碳氮等温室气体释放生物地球化学物质循环模块 3 种以上，能够反映北极增暖影响退化冻土温室气体排放、对北极增暖气候变化的响应等过程；开发退化冻土典型污染物释放及迁移转化模块 2 个以上。

(3) 利用退化冻土区观测数据验证北极敏感扇区陆地—海洋—海冰—大气物质循环及环境风险和气候影响，局地冻土区、海岸带及海洋敏感实验区分辨率 1km 以上，探讨北极气—冰—海—冻土多圈层耦合机制及其级联效应，量化温室气体排放的气候变化失控影响。

(4) 合作研究国别不少于 3 个，建立北极退化冻土区跟踪监测和研究国际合作网络；国际合作人员开展现场观测、遥感监测、模型研制和研究结果交流不少于 10 次，接收合作国人员来华共同开展科研工作累计不少于 3 人，累计不少于 6 人月；培训国外专业技术人员 2 次，召开相关国际研讨会 2 次（参会外籍专家不少于 5 人/次）；中外联合发布和开源共享冻土区观测数据集 2 套和多圈层耦合地球系统模型碳氮等物质循环模块 3 个以上和污染物释放及迁移转化模

块 3 个，形成标准化数据集和示范案例 2 项以上。

关键词：北极气—冰—海—冻土多圈层耦合；冻土退化
碳氮温室气体与污染物释放；环境风险；气候响应与影响；
国际合作

8.2 南极大气—海冰—海洋系统联合观测与海冰快速变化合作研究（基础研究类）

研究内容：开展南极大气—海冰—海洋系统联合研究，获取多源立体观测数据，模拟和诊断南极快速变化的驱动因子。具体包括：

（1）开展固定冰区与走航国际联合观测。在南极科考站及其周边区域组织多国协同观测，提升时空覆盖密度，获取海冰、大气与上层海洋关键要素数据，统一数据格式与质量控制流程，实现联合观测数据的标准化管理与国际共享。

（2）开展多源遥感与无人平台海冰参数联合反演。联合开展多种卫星遥感及无人机数据的融合反演，重点提取海冰积雪厚度、冰厚、类型、粗糙度、漂移、冰脊、固定冰、浮冰尺寸与冰山等参数，构建高时空分辨率、多要素的南极海冰特征数据集。

（3）构建海—冰—气界面通量数据集，解析区域海冰（如固定冰）快速变化过程。以普里兹湾等重点区域为研究对象，融合再分析资料与高分辨率遥感反演成果，构建海—冰—气界面通量数据集；系统刻画海冰厚度、类型与漂移等要素的时空演变特征，定量评估风应力、海洋热通量等因子对海冰生成、融化和运动的调控作用，识别海冰快速变化事件中局地海—冰—气耦合过程的主导机制。

（4）优化高分辨率海冰数值模拟系统，开展气候敏感

性扰动试验。基于区域及全球海洋—海冰耦合模式，设计多种气候扰动因子的敏感性试验，模拟南极海冰系统对局地与遥相关过程的响应，探讨两者在南极海冰快速变化过程中的协同作用，揭示南极海冰缓变和突变的关键驱动机制。

考核指标：

（1）开展南极固定冰区的国际联合观测，参与国家不少于 2 个，重点观测区域位于东南极周围海域，海冰厚度、冰下混合层温盐等关键要素现场观测周期不少于 2 个秋冬季节，结冰季的连续观测时间覆盖度不低于 90%。

（2）开展南极科考走航联合观测，参与国家不少于 2 个，获取走航期间大气边界层温湿廓线、海洋混合层温盐、冰上积雪和海冰厚度等关键要素数据，规范数据格式与质量控制流程，实现多国联合科考数据的集成与共享。

（3）开展基于遥感的海冰参数联合反演研究，联合相关国家开展不少于 6 类遥感数据产品的反演，研制基于遥感海冰类型产品和再分析资料的冬季冰—气湍流通量估算数据集，时间长度不少于 10 年，实现国内外共享。

（4）开展时间跨度不少于 20 年的南极海冰长时序数值模拟研究，数值模拟产品能够准确模拟 2015 年前海冰范围整体增长趋势以及 2016 年起的快速退缩过程。

（5）国际合作互访人员不少于 10 人次；参加南极科考航次调查不少于 4 人次；中外联合发表高水平学术论文 6 篇以上。

关键词：南极海冰；立体观测；海冰遥感；海—冰—气系统；海冰快速变化机理；国际合作

8.3 基于地波雷达的南极罗斯海冰间湖表层流场的观测及模式研究（基础研究类）

研究内容：开展南极罗斯海特拉诺瓦湾冰间湖高频地波雷达观测，结合数值模拟，研究冰间湖表面流场的变化规律及其机制，具体包括：

（1）构建分布式—集中式混合 MIMO 架构的高频地波雷达，建立“秦岭主站（全双工收发）—国际合作副站（单向发射）”的协同观测网络，实现极地近岸海域风场、浪场及表层流的高精度探测。

（2）基于地波雷达观测数据，研究天气尺度、季节尺度和年际尺度上流场的变化规律，揭示罗斯海特拉诺瓦湾冰间湖的中尺度和亚中尺度表层环流特征，探究环流对冰间湖表层物质汇聚的作用。

（3）建立覆盖罗斯海特拉诺瓦湾的高分辨率（ $<1\text{km}$ ）海洋—海冰—冰架耦合数值模型，研究表层环流对于海冰分布的影响，及其对全球大洋底层水—南极底层水源水团的生成作用。

考核指标：

（1）建设分布式—集中式 MIMO 地波雷达站 1 套，流速优于 10cm/s ，流向优于 15° ，风速优于 $1.5\text{m/s} + \text{测量值} \times 10\%$ （稳态风），风向优于 25° （稳态风场），浪高优于 $0.6\text{m} + \text{测量值} \times 15\%$ ，浪向优于 30° 。

（2）建立覆盖特拉诺瓦湾冰间湖、空间分辨率优于 1km 的海洋—海冰—冰架耦合数值模型 1 套，提供冰间湖的表层流场和海冰密集度参数 3 年模拟结果。

（3）中外联合发表高水平论文 5 篇。

关键词：高频地波雷达；特拉诺瓦湾冰间湖；海洋环流、高分辨率数值模式；多尺度变化；国际合作

8.4 东南极拉斯曼丘陵地区冰下地质环境探测技术合作研究（基础研究类）

研究内容：针对东南极拉斯曼丘陵地区冰下地质环境探测，开展以下研究：

（1）结合已有地球物理探测数据，在东南极拉斯曼丘陵地区开展冰下地质环境地震调查，解译地震数据，阐释冰下地形及地质结构特征，探明冰岩界面干湿特征，优选具有高科学研究价值的冰下基岩钻探点位。

（2）改进已有冰下基岩钻探装备，基于优选出的钻探点位，在拉斯曼丘陵地区开展冰下基岩钻探工程，获取连续冰芯及冰下基岩样品，并完成孔内钻井液的回收。

（3）研发成套冰层钻孔观测仪器，主要包括多功能测井仪及多功能传感器链，并开展钻孔多参数原位测量，获取长时间尺度的冰层内部热动力学和冰川动力学参数。

（4）开展冰芯物理化学性质分析，结合冰层原位观测参数，揭示拉斯曼丘陵地区冰川动力学特征。开展基地冰芯内微生物特征分析，揭示冰岩界面生物化学过程。开展冰下基岩样品的岩石学、地球化学和变质变形作用分析，探明冰下基岩构造特征，揭示拉斯曼丘陵地区大陆地壳的形成与演化规律。

考核指标：

（1）完成地震调查剖面不少于 3 条，每条剖面的距离不少于 10km，地震探测深度不少于 1000m，能明确识别冰岩界面及其干湿特性。

(2) 冰下基岩钻孔深度不低于 300m, 冰下基岩样品长度不低于 0.5m, 钻探作业须在 1 个南极考察季内完成。

(3) 多功能测井仪和传感器链的测量深度不少于 500m, 测井仪须在钻井液环境中完成钻孔孔径、温度、方位角、倾角等数据的实时测量和数据回传。多功能传感器链的测量间隔不高于 30m, 可在 -50°C 环境下连续 1 年采集钻孔温度、方位角、倾角数据, 数据回传间隔不超过 24h。

(4) 完成全部冰芯主要阴阳离子、氧同位素、气体成分的分析及定年, 完成基底冰微生物分析, 同时完成基岩的矿物学及地球化学分析, 中外联合发表高水平学术论文 4 篇以上。

(5) 和国外人员共同开展南极科学考察不少于 1 次, 国际合作互访人数不少于 3 人次, 召开国际研讨会 1 次以上。

关键词: 拉斯曼丘陵; 冰下地质环境; 钻孔; 冰芯; 基岩; 国际合作

8.5 南极冰盖接地区域冰下地形和水文过程探测合作研究(基础研究类)

研究内容: 针对南极冰盖物质流失量估算误差较大、冰盖不稳定性存在深度不确定性等海平面预测研究的主要挑战, 聚焦南极冰盖—海洋—基岩衔接的接地区域:

(1) 利用国际合作支撑保障能力, 开展大范围的冰盖地球物理探测, 填补关键数据空白区, 基于国际合作共享观测数据, 发展自主和国际合作共享数据的处理分析方法。

(2) 利用接地区域冰下探测数据, 探明冰下环境特征, 给出准确的冰盖跨越接地线注入海洋的冰盖物质流失通量, 并评估冰下环境对冰盖不稳定性的潜在影响。

(3) 识别接地区域内冰下水文系统要素，揭示冰下水文过程及其演化，推断冰盖底部融水流出通量，结合冰盖物质流失通量，精确评估冰盖物质流失总量。

考核指标：

(1) 开展南极冰盖接地区域关键数据空白区的地球物理探测，测线长度不少于 6000 公里。

(2) 根据接地区域冰下探测研究需求，发展优化自主数据和国际合作共享数据的处理、分析和解译方法，不少于 3 项。

(3) 构建接地区域及上游冰盖的冰厚分布和冰下地形高程模型，面积不少于 1 万平方公里，空间分辨率不低于 500m。

(4) 完成不少于 2 个流域的南极冰盖物质流失总量的精确评估。

(5) 与不少于 3 个国家联合开展南极现场观测，接收不少于 5 名合作方人员来华共同开展项目研究（累计在国内工作时间不少于 5 个月），在国际重要学术会议组织项目主题相关的专题或边会次数不少于 3 次；中外联合发表高水平国际合作论文 4 篇以上。

关键词：南极冰盖；物质流失；接地区域；冰下地形；冰下水文；国际合作

8.6 面向航道低硫燃料溢油的智能监测与生态安全响应技术合作研究（共性关键技术类）

研究内容：开展低硫燃料油溢油污染行为实时监测、生态环境风险评价及船载处理处置装备的国际合作研究。具体包括：

（1）航道低硫油溢油污染行为实时监测技术的开发。
包括：发展基于高分辨率遥感影像的航道溢油区域智能识别与检测新方法，提升溢油事件的时空精确定位与快速响应能力；结合高分辨率海洋动力学和气象数值模型，构建适用于航道环境特征的溢油扩散与迁移预测模型，系统模拟溢油在复杂水文气象条件下的空间扩散路径、污染范围及时间演化规律，为溢油事件的动态监测、环境风险评估和应急处置提供科学支撑。

（2）航道低硫油溢油生态环境风险评估体系的构建。
包括：构建针对航道低硫油（如 MGO、VLSFO 等）关键物理化学性质的标准化分析方法，如密度、黏度、闪点、表面张力及其组分谱解析，基于其水溶性有毒组分（WAFs）的制备和稳定性控制方法，结合急性和慢性毒性检测技术构建一套涵盖理化分析—毒性效应—生态暴露路径的综合环境风险评估框架。构建涵盖北极鳕鱼、冰藻、端足类、沉积物微生物等关键生物的毒性响应数据库，收集急性毒性数据、慢性毒性数据和微生物降阶潜力数据。揭示低硫油对典型海洋初级生产者（如浮游植物）、分解者（如海洋微生物）及关键动物类群（如甲壳类、贝类、鱼类）的影响途径及作用机制，明确低硫油在复杂海洋环境中的迁移转化规律与生态风险阈值。构建溢油事故案例库与应急响应数据库，收集全球北极航道溢油事故案例，整合溢油量、油品类型、扩散范围、应急措施效果和生态恢复监测数据。结合 AI 分析，形成溢油应急决策支持系统，优化未来事故响应策略。

（3）航道低硫油溢油船载吸油材料回收装备的搭建。
包括：发展新型高效、可再生的漂浮型吸油材料，实现对溢

油的选择性稳定吸附，并开展材料吸附行为评估与再生利用工艺优化，应对航道环境中低硫油溢油事故的应急回收需求；基于吸油材料的投放、收集和再回收过程，设计模块化、多功能的船载投放/回收装置；结合油水分离与乳化油破乳技术，开发一体化的船载油水分离处理系统，实现吸附回收—油水分离—油料再利用或处置的全流程闭环处理。适应复杂航道水文条件，具有快速部署、高效率回收和绿色处置的能力的船载处理处置装备的搭建，为低硫燃油溢油事故应急响应提供装备化保障。

考核指标：

（1）溢油事件的自动化识别能力与空间扩散预测精度：高分辨率遥感影像溢油识别准确率 $\geq 90\%$ ，误识率 $\leq 5\%$ ；对 $\geq 50 \text{ km}^2$ 航道水域范围内的动态监测覆盖；溢油扩散数值模型预测时间窗口 ≥ 72 小时，平均偏差率 $\leq 20\%$ 。模型通过2次以上实地或历史溢油案例验证，输出预测图与实测图相符度 $\geq 85\%$ 。

（2）低硫油及 WAFs 的多层级生态风险评估体系：建立 ≥ 6 种代表性海洋生物（涵盖微生物、浮游植物、浮游动物、底栖动物、小型鱼类等）的 WAFs 急性和/或慢性毒性数据库；形成覆盖低硫油理化性质分析、WAFs 制备、毒性测试与暴露评估的标准化操作规程 ≥ 3 套；构建全球北极航道溢油事故数据库，案例覆盖时间不少于20年，包括 ≥ 5 种核心参数（溢油量、油品类型、扩散范围、应急措施效果和生态恢复监测数据）。构建低硫油生态风险评估指标体系，并完成 ≥ 2 个北极航道溢油场景的实际案例评估；至少揭示2条低硫燃料油对关键功能类群（如光合作用、滤食、代谢）的作用机制与

分子干扰通路。

(3) 高效漂浮型吸油材料与船载一体化回收处理系统研发，样机搭建及实地功能验证：漂浮型吸油材料的吸油倍率（自重）和折叠前后面积比均 ≥ 25 倍，使用 1 次后的吸油效率不低于 90%，重复使用 5 次后的吸油效率保持在 80%以上；完成 1 套船载吸油材料投放—回收—油水分离处理一体化装备样机，样机通过 2 次及以上中小尺度实景模拟测试，具备可移动部署、快速回收、模块化集成能力；保证吸附—分离—处理过程的全流程平均处理能力不低于 100L/h。

(4) 合作研究国别不少于 5 个，低硫油油品来源不少于 5 种，开展国际联合实验不少于 5 项，建立北极航道低硫油溢油污染监测治理研究国际合作网络；国际合作人员就检测和研究结果交流不少于 10 次，接收合作国人员来华共同开展科研工作累计不少于 3 人，培训国外专业技术人员 2 次（不少于 10 人/次），召开相关国际研讨会 2 次（参会外籍专家不少于 8 人/次）；中外联合发布核心方法或标准报告 4 篇以上，申请国际专利 2 项，形成示范案例 2 项以上。

关键词：低硫燃料油；极地；遥感影像；风险评估；毒性检测；漂浮型吸油材料；国际合作