

“十四五”国家重点研发计划“工程科学与综合交叉” 重点专项 2021 年度项目申报指南 (征求意见稿)

“工程科学与综合交叉”重点专项着眼强调前瞻性、原创性，在关系国家未来竞争力和长远发展的基础前沿领域，开展综合交叉的科学问题研究。专项总体目标是：把握科技发展前沿和产业发展趋势，在空间、制造、信息、能源、海洋、医工、交通、材料等领域，开展前瞻性、原创性交叉研究；综合运用基础科学、技术科学和社会科学的工具和成果，凝练并解决重大工程应用领域中的共性和基础科学问题，带动相关领域持续发展。

2021 年，本重点专项围绕制造、可再生能源、交通、海洋、医工等 5 个领域部署项目，拟优先支持 20 个研究方向。同一指南方向下，原则上只支持 1 项，仅在申报项目评审结果相近、技术路线明显不同时，可同时支持 2 项，并建立动态调整机制，根据中期评估结果，再择优继续支持。

申报单位根据指南支持方向，围绕重大科学问题和关键技术进行设计。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，每个项目所含单位数不超过 6 家。

指南方向 6 是青年科学家项目，支持 35 周岁以下青年科研人员承担国家科研任务，也可参考指南方向 1-5 中标*的方向组织申报（不受研究内容限制）。青年科学家项目不设课题。

1. 制造领域

1.1 三维纳米结构激光快速加工原理与方法研究*

阐明激光作用下材料的能量吸收、等离子体演化及表面微纳结构演变规律，研究大尺寸加工过程中光束畸变与扫描位置的关系、光束稳定性与设备振动响应特性的关系，研究高通量光束并行调控关键方法，实现跨尺度材料微结构的高效高精度制造。高均匀、无拼接的玻璃板加工尺寸大于 1 平方米，含 10^8 个 30~150 μm 直径可控微孔结构，加工时间小于 10 分钟，可见光波段透明度不低于 40%。突破光学显微成像极限，实现精度达 50 纳米以下的超分辨纳米成像，对三维打印结构进行原位观测。

1.2 超大尺寸复材机翼整体壁板高性能精确成型方法研究*

研究超大空间内纤维自动化精准铺放与预浸料形性合理调控技术，建立预浸料性能时变演化精准预测模型，研究复合材料固化成型缺陷与变形的形成机制，建立成型缺陷与变形的多级热力能场调控方法，形成超大尺寸复合材料机翼整体壁板热压罐成型工艺优化平台。形成工艺优化专用平台软件 1 套，完成 20 米复合材料机翼整体壁板的热压罐固化成型，成型后壁板在间距每 250mm 的距离上施加 50N 力轻

压下，贴模间隙 $\leq 0.2\text{mm}$ ，内部孔隙率小于 1.5%。

1.3 高品质超大深径比加工原理与方法研究*

研究激光与管电极电解同步复合加工技术，探索基于固体边界全光导约束的激光与电化学能量场可控耦合机制，探索激光与管电极电解同步复合高效去除材料机理及加工间隙演化规律，解决轻质合金、高温单晶材料等难加工材料大深度小孔的高效精密制造难题。研发出深小孔五轴加工系统，可加工工件尺寸不小于 300 毫米；加工轻质合金、高温单晶材料等难加工材料，小孔直径 0.8-1.5mm，深径比 $\geq 50:1$ ，孔壁表面再铸层 ≤ 1 微米、孔壁粗糙度 $Ra \leq 5\mu\text{m}$ ，且加工过程中工具电极的进给速率 $\geq 2.5\text{mm}/\text{min}$ ，工具电极无损耗。

1.4 轻量化可重构月面建造方法研究*

研制轻量化、大成型空间、可重构月球建筑索驱动打印系统，建立冗余自由度未知参数下索驱动机器人驱动、辨识与动力学模型，研究不规整地形的打印轨迹规划方法，研究月球建筑打印实时调控方法，突破月球模拟环境下的三维大尺度打印。研制出索驱动打印系统（索驱动机构总质量 $\leq 200\text{kg}$ ，成型空间 $\geq 5\text{m} \times 5\text{m} \times 5\text{m}$ ），搭建出低重力、高低温、强辐射、真空月球模拟环境，完成月球模拟环境下凸凹地形上自适应打印试验，打印出月球建筑样件（建筑样件尺寸 $\geq 3\text{m} \times 3\text{m} \times 3\text{m}$ ）。

2. 可再生能源领域

2.1 高汇聚热流太阳能高温热化学转化蓄热理论与方法

面向大规模太阳能高效热化学转化过程，研究高汇聚能流太阳能集热结构、太阳能高效热化学储能载体、及热化学转化高温反应器的理论与方法。研究高汇聚太阳光在高温储能反应器表面的光热转化、热力耦合、光热力协同作用的机制及材料晶体调控，研究高效化学储热装置内热化学反应热力学模型及动力学机理，建立太阳能热化学储能载体配制遴选、高汇聚热流形式设计及太阳能热化学蓄热器优化调控的理论与方法。研究太阳能聚光集热与化学蓄热相结合的一体化太阳能高效热化学储能装置，太阳能热化学储能效率 $\geq 60\%$ ，蓄热材料循环利用次数 ≥ 30000 ，蓄热器转化率 $\geq 80\%$ 。

2.2 基于钙钛矿太阳能电池的高效光伏电解水制氢理论与方法*

探索新型高效低成本光伏电解水制氢系统构建理论，研究用于光解水制氢的高效低成本钙钛矿太阳能电池、电催化剂的设计及其制备理论，研究膜电极界面流动与电化学反应的协同强化机制与方法，开发具有高效气、水、电、热传输与高耐压及抗腐蚀的电解池流场及集电器结构，提出电解系统与光伏电池板电流电压匹配与电池最优工作点自动调控机制，研究电解水制氢系统的气、水、电、热的综合管理及智能化控制模型。开发钙钛矿太阳能电池和电催化剂耦合的高效太阳能光解水制氢器件（活性面积 $\geq 1 \text{ cm}^2$ ），太阳能制氢能量转化效率 $\geq 15\%$ ，稳定性 $\geq 3000 \text{ h}$ （效率衰减 $\leq 10\%$ ），并构筑大面积光伏电解水制氢验证系统（太阳能制氢能量转

化效率 $\geq 12\%$ ，系统面积 $\geq 1 \text{ m}^2$)。

2.3 固态电解质及固态电能源存储器件基础研究*

针对固态电解质能量存储器件发展瓶颈，研究固态电解质及界面反应设计、理论与高通量计算；界面电催化能源转化反应新机制和新技术；可控阴离子催化氧化还原分解的反应动力学；基于新型固态电解质电能源存储器件的结构设计，优化及性能演变规律等，发展新一代固态二次电池。固态电解质工作温度 $-20\sim+80^\circ\text{C}$ ，电导率 $\geq 1\times 10^{-3} \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ；固态电池容量 $\geq 20\text{Ah}$ ，室温能量密度 $\geq 400\text{Wh/kg}$ （1C，室温），寿命 ≥ 1000 次。

2.4 可再生能源耦合互补转化理论与方法*

针对可再生能源能量密度低、波动性造成低能效、高成本等关键技术瓶颈，侧重从可再生能源转换源头，研究化石能源与可再生能源等多种能源互补有序转化与耦合机理与方法，提出多能源互补的光化学/热化学等耦合制氢与碳氢燃料方法，并完成验证，能耗降低10%以上，提出可再生能源转化为高密度能源的转化储能协同方法，建立多能源耦合互补系统设计理论与优化方法，建立多能源有序转化与储能协同实证平台，能源综合利用率提升10个百分点。

3. 交通领域

3.1 重大交通工程混凝土高性能制备与应用基础*

针对重大交通工程面临混凝土脆性大、韧性低以及特殊环境耐久性差的难题，探究混凝土材料脆性本质和增韧机

理，改性水泥水化产物，调控微结构；研究高原、低真空等特殊环境混凝土损伤失效机理与耐久性设计理论，开发新型智能防护与修复材料；研究高性能混凝土 3D 打印及其装配化与高效智能建造原理，研究高原等环境施工作业人员生命健康智能监测系统和可穿戴装备。揭示混凝土微结构与韧性关系，提出增韧理论和方法，混凝土韧性提升 30%以上。提出特殊环境下混凝土耐久性设计理论与方法，服役寿命提升 1 倍以上。重大交通工程建造效率提升 30%以上，建立生命健康监测系统，保障施工人员生命健康安全。

3.2 桥梁智能建造理论与方法*

研究桥梁结构多目标智能优化理论，研究结构智能建模与分析方法以及桥梁智能深化设计算法。针对桥梁建造场景，研究点云、全景照片、视频、BIM 等数据的高效融合算法。研究桥梁智能制造机器人的目标识别、距离测量、路径规划、自动控制理论与方法。研究桥梁构部件的智能数字化检测和预拼装算法，研究桥梁的智能化工程进度统计方法。针对桥梁建造全过程，提出多目标智能整数优化理论与算法，开发出智能正向建模与分析方法；探明深化设计中的多智能体协同工作机理，提出多任务智能深化方法；提出多源异构数据高效融合算法；提出目标识别与逆向建模算法；提出桥梁智能建造机器人的控制理论与算法；提出桥梁智能化尺寸检测、预拼装与进度统计算法。

3.3 交通基础设施结构智能诊治基础科学问题*

面向桥梁、隧道、综合交通枢纽、港口码头等交通基础设施，研究结构性能指标智能传感技术的原理和方法；研究结构的智能无损检测方法；研究基于图像识别、大数据和深度学习的结构智能监测、评估与预警理论；研究基于高性能材料的结构性能提升理论和方法；研究结构全生命周期性能的智能感知、演化规律和评估理论。研发高精度、长寿命和适用于复杂环境的智能传感装置；建立结构的智能无损检测方法；提出多源异构数据的挖掘、清洗、融合和集成的监测数据智能感知算法；提出考虑时变效应和结构性能提升后的分析与评估方法；建立结构全生命周期性能演变分析方法。

3.4 重载铁路线路智能运维基础科学问题*

面向我国现代化重载铁路运输体系建设与交通强国战略实施需求，探明重载铁路车辆与轨道的动态相互作用机制，揭示我国重载铁路线路服役性能演化规律，建立基于车载监测数据和车线耦合作用模型驱动的重载铁路线路服役状态辨识与智能感知方法，变革传统铁路线路“计划性”养护维修模式，发展重载铁路线路结构智能运维策略，形成具有自主知识产权的重载铁路线路服役状态监测与智能养护维修技术（标准）体系，实现重载铁路线路智能运维。建立重载铁路线路智能养护维修方法体系；研发重载铁路线路服役状态监测车 1 台；在国内典型重载铁路上实现线路智能运维工程应用示范。

4. 海洋领域

4.1 关键海区地声特征及其与水声作用机制

聚焦水下目标探测中地声环境对水声传播的影响，开展海底地声与水声工程交叉融合研究；探明关键海区海底地声环境特征，研究海底地声信息测量标准方法，建立区域地声特征数据库；构建新型海底地声监测系统，开展地声、水声信号的同步监测方法研究和示范验证。揭示关键海区地声环境对水声传播和水下目标探测的作用机理，建立关键海区地声-水声-水文多元耦合模型；在关键海区构建海底地声监测系统 1 套，实现地声、水声信息的高时空分辨率同步监测；为用户提供 1-2 个关键海区海底地声信息服务。

4.2 南海典型生态系统生物多样性资源保护原理

围绕我国南海岛礁生态修复与生物资源保护及其可持续利用的国家重大战略需求，聚焦珊瑚礁生物多样性形成与演化机理问题，开展人类活动胁迫下南海典型海洋生态系统中的生物物种及组学多样性研究，揭示生物多样性格局形成与维持机制，实施关键物种的生态功能和适应进化研究，阐明物种共生、演化与濒危机理，形成评估、监测与预警方法与规程 2-3 套，创建南海海洋物种和组学多样性资源库和数据平台，建立南海海洋生物多样性保护工程的理论框架。

4.3 海底热液成矿元素迁移转化的地生耦合机制

围绕大洋中脊多金属硫化物资源勘探预测和成矿过程中生物与矿物相互作用这一交叉科学问题，开展海底热液系统中微生物介导的成矿元素地球化学过程研究和海底原位

生化耦合观测实验，实现时间序列采样和微生物原位富集培养，揭示微生物对洋壳和硫化物矿物的调控作用，识别海底典型热液区浅层流体运移通道，揭示热液区表层与深部成矿元素迁移、转化过程和环境效应，探讨海底热液循环过程中岩石矿物与微生物相互作用的耦合机制，建立海底热液系统成矿元素迁移转化的地质-微生物耦合模型。

4.4 南极罗斯海底层水的源区观察和变异机理

围绕极地海洋深层循环及其效应问题，支撑极地海洋保护区制度建设需求，开展罗斯海南极底层水（AABW）源区的综合观测和耦合模拟研究，揭示 AABW 的生成及其跨陆架/陆坡下沉的动力机制，阐明大气、海洋、海冰和冰架过程对 AABW 产量和性质变异的影响，建立一套 AABW 源区的新型观测系统，发展高分辨率的海-冰-气耦合模式，使南极底层水通量的模拟精度提高 15%，气候模式在南大洋的系统性偏差降低 10%，评价 AABW 在储碳增汇中的作用和效应。

5. 医工领域

5.1 实时原位超分辨光学成像关键问题研究

研究活体大深度高时空分辨光学成像技术及高灵敏度基因编码探针，发展可快速识别生物微观结构并获取多维光学信息的成像手段，建立具有分子选择性的快速无标记光学成像方法，研发基于人工智能和机器学习的多维光学信息融合算法，实现活体光学成像在时空分辨率、信息维度以及成像速度等方面的突破。原位大深度成像（1 至 8 mm），空间

分辨率最高达到 1 μm ，且成像速度不低于 100 帧/秒，在体活细胞成像空间分辨率 100 nm；实现不少于 6 个信息维度的同时信息获取；研发不少于 3 个基因编码光学探针（动态范围不小于 8 倍）；无标记活体光学成像的空间分辨率达到 110 nm，速度不低于 20 帧/秒。

5.2 重大心脏病心肌纤维化演变规律与精准诊断方法研究

研发多尺度、多模态、基于分子-病理-影像的心肌纤维化诊断体系，提高医学成像精度、缩短成像时间、丰富评价指标，对各类心脏病患者的心肌纤维化发生与演变进行识别及预后评价；明确心肌纤维化各演进阶段的分子生物学-影像学表征相关性，从微观到宏观、为精准诊断以及监测疾病演变提供多尺度无创性影像学方法。构建用于心肌纤维化分子机制研究的探针，实现不少于两种早期诊断或监测的分子学新方法；研发不少于 3 种用于心肌纤维化的心肌组织学定量成像方法及相关硬件设备；构建不少于 2 种心肌纤维化评价的新影像学指标和相应诊断标准；建立心脏多模态影像数据库，包含冠心病和至少 5 种心肌病，每种不少于 500 例；建立 2 种心脏疾病的风险预测模型，准确性 $\geq 90\%$ ；明确与抗心肌纤维化药物干预疗效相关的关键影像指标。

5.3 基于学习模型的超高场磁共振成像关键问题研究

针对全身超高场磁共振成像中扫描时间长、射频激发不均匀，及 SAR 值预测不准确等瓶颈难题，开展基于学习模型

的超高场磁共振成像关键研究，阐明基于学习模型的多信号反问题理论，建立超高场下多对比度快速成像方法，形成超高场射频激发策略和 SAR 值准确预测方法，最终和超高场人体磁共振成像系统集成并实现全身多部位应用。多对比快速成像加速倍数不少于 8 倍；实现单通道激发功率 $\geq 6\text{kW}$ 的 8 通道并行射频激发；满足 SAR 约束情况下感兴趣区内均匀性不低于 60%；脑弥散成像分辨率 0.6 毫米各向同性；三维快速头颈联合血管壁成像分辨率 0.5 毫米各向同性，扫描时间小于 4 分钟；实现腹部动态成像单层时间分辨率小于 1.5 秒，实现不少于 2 种多核代谢成像应用。

5.4 面向运动和感觉功能障碍的神经肌肉接口及功能康复的重大基础问题研究

阐明神经肌肉组织电生理与血液微循环（血流/血氧）的耦合工作机制，建立外周神经肌肉的光声电多模生理信息传感及高分辨同步实时检测方法，解析神经肌肉损伤后躯体运动与感觉功能障碍的生理变异，研制运动和感觉功能康复系统，外周神经超声刺激，实现康复效果的生理和功能评估。柔性电极阵列 ≥ 64 通道、空间分辨率 $\geq 2\text{ mm}$ 、均向拉伸 $\geq 100\%$ 、共模抑制比 $\geq 100\text{ dB}$ ；血流/血氧信号测量深度 $\geq 2\text{ cm}$ ；声学刺激与检测频率不低于 10 MHz；空间分辨率 $\geq 1\text{ cm}$ ；能完成不少于 3 种运动和感觉功能障碍患者的神经肌肉功能分析及康复评估。

6. 青年科学家项目

6.1 海洋领域青年科学家项目

围绕水合物上覆沉积-水环境多界面甲烷转化过程与固碳机制、深海冷水珊瑚生态系统物质能量循环、海洋生物资源高效利用、海底灾害动力过程与新型探测原理等领域的基础和交叉问题，支持青年科学家开展研究。

6.2 医学工程领域青年科学家项目

围绕医学信息、生物电子、医疗机器人、生物力学和医学成像相关领域的基础和交叉问题，支持青年科学家开展研究。