

# 科学技术部文件

国科发资〔2023〕90号

---

## 科技部关于发布国家重点研发计划 “高性能制造技术与重大装备”等 6个重点专项2023年度项目 申报指南的通知

各省、自治区、直辖市及计划单列市科技厅（委、局），新疆生产建设兵团科技局，国务院各有关部门，各有关单位：

国家重点研发计划深入贯彻落实党的二十大精神，坚持“四个面向”总要求，持续推进“揭榜挂帅”、青年科学家项目等科技管理改革举措，着力提升科研投入绩效，加快实现高水平科技自立自强。根据《国家重点研发计划管理暂行办法》和组织管理相关要求，现将“高性能制造技术与重大装备”“智能传感器”“工业软件”“增材制造与激光制造”“智能机器人”“网络空间安全

治理”6个重点专项2023年度项目申报指南予以公布，请根据指南要求组织项目申报工作。有关事项通知如下。

### 一、项目组织申报工作流程

1. 申报单位根据指南方向的研究内容以项目形式组织申报，项目可下设课题。项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部考核指标。项目设1名负责人，每个课题设1名负责人，项目负责人可担任其中1个课题的负责人。

2. 整合优势创新团队，并积极吸纳女性科研人员参与项目开发，聚焦指南任务，强化基础研究、共性关键技术研发和典型应用示范各项任务间的统筹衔接，集中力量，联合攻关。鼓励有能力的女性科研人员作为项目（课题）负责人领衔担纲承担任务。

3. 国家重点研发计划项目申报过程分为预申报、正式申报两个环节，具体工作流程如下。

——填写预申报书。项目申报单位根据指南相关申报要求，通过国家科技管理信息系统公共服务平台（<http://service.most.gov.cn>，以下简称“国科管系统”）填写并提交3000字左右的项目预申报书，详细说明申报项目的目标和指标，简要说明创新思路、技术路线和研究基础。从指南发布日到预申报书受理截止日不少于50天。

预申报书应包括相关协议和承诺书。项目牵头申报单位应与所有参与单位签署联合申报协议，并明确协议签署时间；项目牵头申报单位、课题申报单位、项目负责人及课题负责人须签署诚

信承诺书，项目牵头申报单位及所有参与单位要落实《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》《关于进一步弘扬科学家精神加强作风和学风建设的意见》等要求，加强对申报材料审核把关，杜绝夸大不实，严禁弄虚作假。

预申报书须经相关单位推荐。各推荐单位加强对所推荐的项目申报材料审核把关，按时将推荐项目通过国科管系统统一报送。

专业机构受理预申报书并组织首轮评审。为确保合理的竞争度，对于非定向申报的单个指南方向，若申报团队数量不多于拟支持的项目数量，该指南方向不启动后续项目评审立项程序，择期重新研究发布指南。专业机构组织形式审查，并根据申报情况开展首轮评审工作。首轮评审不需要项目负责人进行答辩。根据专家的评审结果，遴选出3~4倍于拟立项数量的申报项目，进入答辩评审。对于未进入答辩评审的申报项目，及时将评审结果反馈项目申报单位和负责人。

——填写正式申报书。对于通过首轮评审和直接进入答辩评审的项目申请，通过国科管系统填写并提交项目正式申报书，正式申报书受理时间为30天。

专业机构受理正式申报书并组织答辩评审。专业机构对进入答辩评审的项目申报书进行形式审查，并组织答辩评审。申报项目的负责人通过网络视频进行报告答辩。根据专家评议情况择优立项。对于支持1~2项的指南方向，原则上只支持1项，如答辩评审结果前两位的申报项目评价相近，且技术路线明显不同，可

同时立项支持，并建立动态调整机制，结合过程管理开展关键节点考核评估，根据评估结果确定后续支持方式。

4. 定向项目（含定向委托和定向择优）不填写预申报书，直接在国科管系统填写正式申报书。专业机构在受理项目申报后，组织形式审查，并组织答辩评审，申报项目的负责人进行报告答辩。根据专家评议情况择优立项。

## 二、组织申报的推荐单位

1. 国务院有关部门科技主管司局；

2. 各省、自治区、直辖市、计划单列市及新疆生产建设兵团科技主管部门；

3. 原工业部门转制成立的行业协会；

4. 纳入科技部试点范围并且评估结果为 A 类的产业技术创新战略联盟，以及纳入科技部、财政部开展的科技服务业创新发展行业试点联盟。

各推荐单位应在本单位职能和业务范围内推荐，并对所推荐项目的真实性等负责。推荐单位名单在国科管系统上公开发布。

## 三、申报资格要求

1. 项目牵头申报单位和参与单位应为中国大陆境内注册的科研院所、高等学校和企业等，具有独立法人资格，注册时间为 2022 年 6 月 30 日前，有较强的科技研发能力和条件，运行管理规范。国家机关不得牵头或参与申报。

项目牵头申报单位、参与单位以及团队成员诚信状况良好，

无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。

申报单位同一个项目只能通过单个推荐单位申报，不得多头申报和重复申报。

2. 项目（课题）负责人须具有高级职称或博士学位，1963年1月1日以后出生，每年用于项目的工作时间不得少于6个月。

3. 项目（课题）负责人原则上应为该项目（课题）主体研究思路的提出者和实际主持研究的科技人员。中央和地方各级国家机关的公务人员（包括行使科技计划管理职能的其他人员）不得申报项目（课题）。

4. 参与重点专项实施方案或本年度项目指南编制的专家，原则上不能申报该重点专项项目（课题）。

5. 受聘于内地单位的外籍科学家及港、澳、台地区科学家可作为项目（课题）负责人，全职受聘人员须由内地聘用单位提供全职聘用的有效材料，非全职受聘人员须由双方单位同时提供聘用的有效材料，并作为项目预申报材料一并提交。

6. 申报项目受理后，原则上不能更改申报单位和负责人。

7. 项目申报查重要求详见附件1。各申报单位在正式提交项目申报书前，可利用国科管系统查询相关科研人员承担国家重点研发计划重点专项、科技创新2030—重大项目等在研项目情况，避免重复申报。

8. 具体申报要求详见各申报指南，有特殊规定的，从其规定。

#### 四、项目管理改革举措

1. 关于“揭榜挂帅”项目。为切实提升科研投入绩效、强化重大创新成果的“实战性”，重点研发计划聚焦国家战略亟需、应用导向鲜明、最终用户明确的攻关任务，设立“揭榜挂帅”项目。突出最终用户作用，实施签订“军令状”“里程碑”考核等管理方式。对揭榜单位无注册时间要求，对揭榜团队负责人无年龄、学历和职称要求，鼓励有信心、有能力组织好关键核心技术攻坚的优势团队积极申报。明确榜单任务资助额度，简化预算编制，经费管理探索实行“负面清单”。

2. 关于青年科学家项目。为给青年科研人员创造更多机会组织实施国家目标导向的重大研发任务，重点研发计划设立青年科学家项目。根据领域和专项特点，采取专设青年科学家项目或项目下专设青年科学家课题等多种方式。青年科学家项目不要求对指南内容全覆盖，不下设课题，原则上不再组织预算评估，鼓励青年科学家大胆探索更具创新性和颠覆性的新方法、新路径，更好服务于专项总体目标的实现。

3. 关于部省联动。部分专项任务将结合国家重大战略部署和区域产业发展重大需求，采取部省联动方式实施，由部门和地方共同凝练需求、联合投入、协同管理，地方出台专门政策承接项目成果，在项目组织实施中一体化推动重大科技成果产出和落地转化。

4. 关于技术就绪度（TRL）管理。针对技术体系清晰、定量

考核指标明确的相关任务方向，“十四五”重点研发计划探索实行技术就绪度管理。申报指南中将明确技术就绪度要求，并在后续的评审立项、考核评估中纳入技术就绪度指标，科学设定“里程碑”考核节点，严格把控项目实施进展和风险，确保成果高质量产出。

## 五、具体申报方式

1. 网上填报。请各申报单位按要求通过国科管系统进行网上填报。专业机构将以网上填报的申报书作为后续形式审查、项目评审的依据。申报材料中所需的附件材料，全部以电子扫描件上传。

项目申报单位网上填报预申报书的受理时间为：2023年6月20日8:00至7月24日16:00。进入答辩评审环节的申报项目，由申报单位按要求填报正式申报书，并通过国科管系统提交，具体时间和有关要求另行通知。

定向项目申报单位填写正式申报书的受理时间为：2023年6月20日8:00至7月24日16:00。

2. 组织推荐。请各推荐单位于2023年7月27日16:00前通过国科管系统逐项确认推荐项目，并将加盖推荐单位公章的推荐函以电子扫描件上传。

3. 技术咨询电话及邮箱：

010-58882999（中继线），[program@istic.ac.cn](mailto:program@istic.ac.cn)。

4. 业务咨询电话：

(1) “高性能制造技术与重大装备”重点专项咨询电话：  
010-68104402。

(2) “智能传感器”重点专项咨询电话：010-68104423。

(3) “工业软件”重点专项咨询电话：010-68104472。

(4) “增材制造与激光制造”重点专项咨询电话：  
010-68104487。

(5) “智能机器人”重点专项咨询电话：010-68207734、  
68207749。

(6) “网络空间安全治理”重点专项咨询电话：  
010-68207726、68207794。

附件：1. 项目申报查重要求

2. “高性能制造技术与重大装备”重点专项 2023 年度  
项目申报指南及“揭榜挂帅”榜单

3. “智能传感器”重点专项 2023 年度项目申报指南

4. “工业软件”重点专项 2023 年度项目申报指南及“揭  
榜挂帅”榜单

5. “增材制造与激光制造”重点专项 2023 年度项目申  
报指南

6. “智能机器人”重点专项 2023 年度项目申报指南及  
“揭榜挂帅”榜单

7. “网络空间安全治理”重点专项 2023 年度项目申报

指南及“揭榜挂帅”榜单



## 附件 1

### 项目申报查重要求

1. 项目（课题）负责人限申报 1 个项目（课题）；国家重点研发计划、科技创新 2030—重大项目的在研项目负责人不得牵头或参与申报项目（课题），课题负责人可参与申报项目（课题）。

项目（课题）负责人、项目骨干的申报项目（课题）和国家重点研发计划、科技创新 2030—重大项目在研项目（课题）总数不得超过 2 个。国家重点研发计划、科技创新 2030—重大项目的在研项目（课题）负责人和项目骨干不得因申报新项目而退出在研项目；退出项目研发团队后，在原项目执行期内原则上不得牵头或参与申报新的国家重点研发计划项目。

2. 涉及与“政府间国际科技创新合作”“战略性科技创新合作” 2 个重点专项项目查重时，对于中央财政专项资金预算不超过 400 万元的“政府间国际科技创新合作”重点专项项目、中央财政专项资金预算不超过 400 万元的“战略性科技创新合作”重点专项港澳台项目，与国家重点研发计划其他重点专项项目（课题）互不限项，但其他重点专项项目的在研项目负责人不得参与申报此类不限项项目。

3. 与国家自然科学基金部分项目实施联合查重。对于国家重点研发计划项目的项目（课题）负责人，需与国家自然科学基金

重大项目（限项目负责人和课题负责人）、基础科学中心项目（限学术带头人和骨干成员）、国家重大科研仪器研制项目（限部门推荐项目的项目负责人和具有高级职称的主要参与者）实施联合限项，科研人员同期申报和在研的项目（课题）数原则上不得超过2项，但国家重点研发计划中的青年科学家项目、科技型中小企业项目、国际合作类项目3类项目不在与国家自然科学基金联合限项范围内。

4. 项目任务书执行期（包括延期后执行期）到2023年12月31日之前的在研项目（含任务或课题）不在限项范围内。

**“高性能制造技术与重大装备”重点专项  
2023 年度项目申报指南及“揭榜挂帅”榜单**  
(仅国家科技管理信息系统注册用户登录可见)

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“高性能制造技术与重大装备”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2023 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：围绕国家战略产业高端产品及重大工程关键装备在复杂环境、复杂工况下高性能可靠服役需求，突破高性能制造基础前沿和共性关键技术，研制具有高精度、高可靠、高效率、智能化、绿色化等高性能特征的基础件、基础制造工艺装备、基础试验与分析平台等，实施重大装备集成应用示范，推动制造技术向材料—结构—功能一体化的高性能设计制造转变，实现高性能制造技术和重大装备的自主可控，增强我国战略性新兴产业高端产品和重大工程关键装备的核心竞争力。

2023 年度指南部署坚持目标导向、问题导向的原则，遵循围绕产业链部署创新链的思路，针对高性能基础件、高性能制造工艺装备、集成应用示范等 3 个技术方向，按照基础研究、共性关键技术、应用示范三个层面，拟启动 37 项指南任务，拟安排国拨经费 4.2 亿元。其中，在基础研究类部署青年科学家项目，每

个项目 200 万元。共性关键技术类项目配套经费与国拨经费比例不低于 1.5:1，应用示范类项目配套经费与国拨经费比例不低于 2.5:1。共性关键技术类项目和应用示范类项目均要求由企业牵头申报。

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 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。

青年科学家项目不要求对指南内容全覆盖，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 1985 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1983 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。

## **1 高性能基础件**

### **1.1 基础件复合热加工材料—组织—性能协同调控理论（基础研究类）**

研究内容：研究轴承、齿轮等关键基础件关键性能与塑性变形、热处理等过程中组织演变、成形制造工艺参数的耦合机理与模型，揭示多尺度组织演变机理，建立典型基础件材料—成形—

热处理的全流程性能仿真模型，提出精确控制性能均匀性的材料组织、塑性变形、热处理一体化热加工调控方法，开发全流程协同调控工艺参数动态优化等关键技术，在新能源装备、重大工程装备等领域传动部件中进行试验验证。

考核指标：形成关键基础件复合热加工工艺组织均匀性控制理论，及全流程协同调控工艺。研发热加工全流程仿真、工艺设计和分析优化的软件工具，模拟拉伸强度、冲击韧性等静动态力学性能精确度 $\geq 85\%$ ；研制典型关键基础件样件 3~5 种，与现有国内同类产品相比强度、冲击韧性、硬度等关键性能指标的均匀性提高 30%以上。

关键词：热加工技术，基础件，塑性加工，热处理

## **1.2 原子级特征尺寸结构器件与原子级精度表面制造过程及机理研究（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：研究材料的原子尺度可控去除及有序排布机理，探索原子尺度应力场、温度场、能量场等多场耦合作用机制，建立原子级特征尺寸结构以及无损/近无损原子级精度表面创成方法，形成具有特定功能的原子级尺度结构以及具有宏观尺寸与超高表面完整性的核心元件，其结构尺寸可溯源测量，突破原子及近原子尺度制造过程的原位动态观测与表征技术，实现原子级特征尺寸结构器件的可控制造。

考核指标：形成原子级尺寸结构器件与原子级精度无损/近无损表面制造的基础理论和原位动态观测与表征技术，掌握 3 种以

上材料（需包含单晶、非晶和金属各一种）的单原子层精度可控制造技术，形成具有平面或曲面形状特征的结构器件，面形精度优于  $10 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ nm}$ )，结构高度  $\leq 1 \text{ nm}$ （针对平面形状特征），结构特征尺寸  $\leq 50 \text{ nm}$ （针对曲面形状特征），结构器件线密度  $\geq 20 / \mu\text{m}$ ，单次幅面制造能力  $\geq 10 \times 10 \mu\text{m}$ ，粗糙度  $\leq \text{Sa } 0.2 \text{ nm}$ ，原位动态观测与表征空间分辨率优于  $0.1 \text{ nm}$ ，时间分辨率优于  $1 \text{ ms}$ ，制造过程可重复。

有关说明：支持 2 项。

关键词：原子及近原子尺度可控去除，多场耦合，原子级特征尺寸结构器件，原子级表面，原位动态观测

### 1.3 油膜电阻驱动的轴承智能润滑机理及调控方法（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：提出物化耦合的电调控油基润滑理论，研究润滑界面摩擦电荷转移机理，建立针对不同润滑介质的油膜电阻与润滑状态的关联关系，构建考虑变载荷工况下电信号感控驱动的接触区润滑油膜电阻模型，提出材料—特异性结构—油膜感控协同的轴承智能润滑设计方法，开发润滑油膜电阻驱动的润滑感控技术，研发润滑感控轴承模拟样件，开展模拟轴承服役环境的摩擦感知及调控功能试验验证。

考核指标：提出基于油膜电阻的轴承智能润滑感控理论，形成协同材料—结构—感控的轴承智能润滑设计方法，研制可润滑感控的轴承模拟样件 2 件、润滑油膜电阻感控试验系统 1 套，系

统的摩擦接触承载  $\geq 1.2$  GPa，对摩擦系数波动的感知准确度  $\geq 95\%$ ，电信号反馈调节响应时间  $\leq 10$  s。

关键词：油膜电阻，智能润滑，轴承，电调控

#### **1.4 液态金属轴承设计制造基础理论与技术（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：研究面向高辐射高真空服役环境的液态金属轴承混合摩擦机理，揭示液态金属轴承多物理场耦合行为与性能形成机制，提出液态金属轴承材料—结构—功能一体化设计方法，开发液态金属轴承形性协同制造技术，研发高性能液态金属轴承样件，并在电子加速器等模拟环境中试验验证。

考核指标：形成极端服役条件液态金属轴承设计制造理论与技术，研发液态金属轴承样件，并在辐射剂量率  $\geq 15$  Gy/h、辐射能量  $\geq 3$  MeV、真空度  $\leq 1 \times 10^{-5}$  Pa 的高辐射高真空电子加速器模拟环境中试验验证，转速 10~3000 r/min，最大承载载荷  $\geq 5$  kg，服役寿命  $\geq 1000$  小时，服役温度 20 °C~300 °C。

关键词：液态金属轴承，极端服役环境，混合摩擦机理

#### **1.5 高速磁性液体机械密封设计理论与技术（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：研究高导热性能磁性液体配方优化与制备方法，揭示磁性液体流变性能与高速密封粘性阻力矩及热耗散的耦合作用机理，建立高速密封工况下磁性液体热磁对流传热模型，研究磁性液体密封中的表界面效应，提出高速磁性液体密封散热结构

优化方法，研发高速磁性液体机械密封样件，在发动机主轴密封模拟工况下进行试验验证。

考核指标：形成高速磁性液体密封优化设计理论；研制高导热性能的磁性液体，导热系数 $\geq 0.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ；研发高速磁性液体机械密封样件，相比现有磁性液体机械密封综合性能提升 25%以上，即：最高工作线速度 $\geq 25 \text{ m/s}$ 、工作压力 $\geq 0.3 \text{ MPa}$ 时，泄漏率 $\leq 1\times 10^{-12} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 。

关键词：磁性液体，高速密封，粘性耗散，热磁对流

### 1.6 多工作谐波共励伺服电机设计理论与技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：研究磁场调制、磁复合等多工作谐波共励伺服电机机电能量转换机理、电磁结构参数与电机性能间耦合关系，建立伺服电机多工作谐波协同调控理论，提出伺服电机电磁拓扑结构构造与优化方法，开发多工作谐波共励下电机转矩密度、齿槽转矩、能量转换效率多目标优化设计技术，研发多工作谐波共励伺服电机样机，并进行试验验证。

考核指标：形成多工作谐波共励伺服电机理论与拓扑构造方法，研制额定转矩  $2.4 \text{ N}\cdot\text{m}$ 、额定转速  $3000 \text{ r/min}$  的多工作谐波共励伺服电机样机，其转矩密度 $\geq 20 \text{ N}\cdot\text{m/L}$ ，峰值转矩密度达到  $50 \text{ N}\cdot\text{m/L}$ ，齿槽转矩比 $\leq 0.2\%$ ，额定工况下转矩脉动 $\leq 0.8\%$ ，采用自然散热的方式，额定工作点绕组最高温升低于  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

关键词：伺服电机，多工作谐波共励，高转矩密度，低齿槽

转矩

### **1.7 传感器内嵌式一体化智能轴承关键技术(共性关键技术类)**

研究内容: 研究传感器内嵌式一体化智能轴承服役状态源端监测理论, 突破智能轴承功能结构一体化设计、多参量传感器原位制造及高可靠集成等关键技术, 开发轴承载荷、振动、转速、温度智能监测微系统, 研制传感器内嵌式一体化智能轴承, 在风电、轨道交通、工程机械等领域实现应用。

考核指标: 形成智能轴承专用多参量源端监测微系统, 尺寸 $\leq 30\text{ mm}\times 30\text{ mm}\times 6\text{ mm}$ , 感知物理信号类型 $\geq 4$ 类, 振动、温度、转速检测精度 $\leq 1\% \text{ FS}$ , 载荷传感器检测精度 $\leq 2\% \text{ FS}$ , 载荷传感器原位制造器件位置精度 $\leq 0.1\text{ mm}$ ,  $\text{MTBF} \geq 10$ 万小时, 最大工作转速 $\geq 40\text{ rpm}$ (风电)、 $3000\text{ rpm}$ (轨道交通)、 $20\text{ rpm}$ (工程机械); 研发2~3类传感器内嵌式一体化智能轴承, 疲劳剥落、欠润滑烧伤等故障识别准确度 $\geq 90\%$ ; 制定国家、行业或团体技术标准 $\geq 2$ 项。

关键词: 智能轴承, 微系统, 内嵌式, 传感器

### **1.8 高可靠大扭矩行星齿轮传动关键技术(共性关键技术类)**

研究内容: 研究高可靠多行星轮的复合行星轮系大扭矩密度与均载优化设计、抗冲击齿廓修形及齿根优化设计、大型薄壁高强度内齿圈形性一体化控制、多源激励数据驱动的大扭矩行星齿轮传动系统服役性能仿真计算与评价等关键技术, 研制高可靠大扭矩行星齿轮传动系统, 在大功率风电机组、超大型起重装备中实现应用。

考核指标：形成行星齿轮传动系统设计与动态性能分析软件，大型薄壁高强度内齿圈热处理跨棒距变形量 $\leq 1.5$  mm、硬化层深 $\geq 5$  mm，对标 GB/T3480 标准，齿廓接触与弯曲疲劳寿命提高 $\geq 20\%$ ；研制高可靠大扭矩行星齿轮传动系统，低速端扭矩 $\geq 2000$  kN·m、载荷分布不均匀系数 $\leq 1.10$ （行星轮数量 $\geq 4$ ）、扭矩密度 $\geq 200$  N·m/kg、单级传动效率 $\geq 98\%$ ；建成 18MW 及以上大扭矩行星齿轮传动全功率可靠性试验平台。制定国家、行业或团体技术标准 $\geq 2$  项。

关键词：大扭矩，低速重载，行星齿轮传动系统

### 1.9 高抗压耐腐蚀齿轮传动系统关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究海洋环境多场耦合作用下齿轮传动系统动力学行为及材料—构型—性能协同设计方法，突破高抗压耐腐蚀齿轮箱壳体、传动误差自补偿齿轮、油水耦合平衡式高压动密封、齿轮传动系统试验及服役状态监测等关键技术，研制高抗压耐腐蚀海洋齿轮传动系统，在海底勘探、开采工程装备上应用。

考核指标：研发海洋环境齿轮传动系统设计分析软件，具备传递效率计算、接触应力分析、弯曲应力分析、服役寿命预测等设计分析功能，仿真精度 $\geq 90\%$ ；高抗压耐腐蚀海洋齿轮传动系统齿轮设计寿命 $\geq 25$  年，最大耐压 $\geq 30$  MPa、耐腐蚀等级 $\geq$  C5-M，壳体最大变形量 $\leq 0.5\%D$ （直径），高压动密封寿命 $\geq 2000$  h、泄漏量 $\leq 150$  mL/h，全压力工况单级齿轮传动效率 $\geq 80\%$ 、最大传递功率 $\geq 30$  kW、齿轮自补偿啮合面积 $\geq 50\%$ 、扭矩密度 $\geq 150$  N·m/kg。制定国家、行业或团体技术标准 $\geq 2$  项。

关键词：高抗压，耐腐蚀，齿轮传动系统，高压动密封

### **1.10 大行程高可靠行星滚柱丝杠关键技术（共性关键技术类）**

研究内容：研究大行程高可靠行星滚柱丝杠构型—精度—性能协同优化设计方法，突破大长径比薄壁结构内外螺纹高精度磨削与表面强化、内外螺纹啮合组合结构运动协调装配、行星滚柱丝杠承载性能测试及寿命评价等关键技术，开发薄壁深孔内外螺纹高精度磨削装备，研制大行程高可靠行星滚柱丝杠及试验装置，在工程机械、特种车辆或船舶设备等实现应用。

考核指标：开发大行程高可靠行星滚柱丝杠设计分析软件，具备复杂工况构型设计、结构优化、静动态性能分析等功能；研制薄壁深孔内外螺纹高精度磨削装备，可加工螺纹长度 $\geq 1600$  mm，Z轴重复定位精度 $\leq 2\ \mu\text{m}$ ；研发承载寿命试验装置，加载力 $\geq 1500$  kN，加载行程 $\geq 4500$  mm；研发大行程重载行星滚柱丝杠，工作行程 $\geq 4000$  mm、额定动载荷 $\geq 1400$  kN、螺母外径 $\leq 200$  mm，单级精度G3级，多级传动伸缩比 $\geq 1.6$ ，工作寿命 $\geq 3000$  h。制定国家、行业或团体技术标准 $\geq 2$ 项。

关键词：大行程，高可靠，行星滚柱丝杠，螺纹磨削

### **1.11 高速精密电驱动减速器关键技术（共性关键技术类）**

研究内容：研究高速大重合度重载齿轮传动抗点蚀、抗胶合设计方法，以及高速齿轮噪音形成机理及啸叫抑制方法；突破高速齿轮非对称齿形精密磨削工艺、内啮合强力珩齿工艺、齿轮形态误差精确测量分析表征、性能评估等关键技术；研制高速精密

电驱动减速器，在工程机械、重型车辆等领域应用。

考核指标：形成高速齿轮精密磨削、内啮合强力珩齿成套工艺技术及规范，加工精度达到 GB/T 3~4 级，齿面轮廓支撑率  $\geq 85\%$ 、粗糙度  $\leq Ra\ 0.1\ \mu\text{m}$ 、齿形形状误差  $\leq 1\ \mu\text{m}$ 、齿向形状误差  $\leq 1\ \mu\text{m}$ ；开发齿轮波纹度分析软件及齿轮检测平台，傅里叶分析能力  $\geq 500$  阶次，测量精度示值误差  $\leq 0.5\ \mu\text{m}$ ；研制高速精密电驱动减速器，最大输入功率  $\geq 300\ \text{kW}$ 、最高输入转速  $\geq 25000\ \text{rpm}$ 、最大噪声  $\leq 83\ \text{dB (A)}$ 、最高传动效率  $\geq 98\%$ 、齿轮接触承载能力  $\geq 1640\ \text{MPa}/5000$  万次。制定国家、行业或团体技术标准  $\geq 2$  项。

关键词：电驱动减速器，内啮合强力珩齿，波纹度分析

### 1.12 高功率密度电静液直驱部件关键技术（共性关键技术类）

研究内容：研究电静液直驱系统用高速重载电机泵构型原理、时变工况动平衡与散热结构一体化设计方法，突破高速重载电机泵摩擦副高效润滑设计、抗磨形性调控工艺，以及电静液直驱系统高能效协同匹配控制、低速稳定性控制等关键技术，建立复杂服役环境下电机泵性能与可靠性测评方法，研制高功率密度电静液直驱关键部件，在重大工程装备中得到应用。

考核指标：开发高功率密度电静液直驱系统设计软件；形成电机泵高转速摩擦副加工工艺及抗磨形性测试装备，许用  $[pv]$  值  $\geq 20\ \text{MPa}\cdot\text{m/s}$ 、摩擦系数  $\leq 0.2$ ；研制电静液直驱系统用电机泵，排量  $\geq 60\ \text{cc/r}$ 、转速范围  $200\sim 6000\ \text{rpm}$ 、最高压力  $\geq 42\ \text{MPa}$ 、功率密度  $\geq 2.1\ \text{kW/kg}$ 、能效  $\geq 82\%$ 、噪声  $\leq 85\ \text{dB}$ 、MTBF  $\geq 2000\ \text{h}$ ；

研制高功率密度电静液直驱系统 2~3 套，与阀控系统相比整体能效提升  $\geq 30\%$ 。制定国家、行业或团体技术标准  $\geq 2$  项。

关键词：电静液直驱，电机泵，高功率密度，高动态

### **1.13 高压大排量快速响应闭式柱塞泵关键技术（共性关键技术类）**

研究内容：研究交变极限载荷条件下大排量轴向闭式柱塞泵破坏机理及高承载设计方法、摩擦副磨损退化机理及其故障诊断和预测性维护方法；突破闭式配流与变量机构高频响控制、正反向变量切换时压力冲击抑制、关键零部件加工与表面改性等关键技术，研发高压大排量轴向闭式柱塞泵及试验平台，在大型工程装备、应急救援装备等领域得到应用。

考核指标：开发高压大排量轴向闭式柱塞泵设计软件；研制高压大排量闭式柱塞泵试验平台，额定压力  $\geq 50$  MPa、变量控制机构响应时间  $\leq 100$  ms；研制高压大排量轴向闭式柱塞泵 3 型，排量分别为 180 ml/r、215 ml/r、280 ml/r，额定工作压力  $\geq 45$  MPa，响应时间  $\leq 200$  ms，容积效率  $\geq 92\%$ ；压力冲击试验次数  $\geq 500$  万次。制定国家、行业或团体技术标准  $\geq 2$  项。

关键词：高压，大排量，高频响，闭式柱塞泵

## **2 高性能制造工艺装备**

### **2.1 铝合金多尺度结构与应力系统调控精准制造（基础研究类）**

研究内容：研究铝合金构件极端承载能力、极端精准光学观测能力与宏微多尺度结构的关联机制，揭示极端服役性能特征多

尺度结构形成的多能场条件，建立实现超强服役性能的宏微多尺度结构与应力状态精准适配制造理论，开发宏微多尺度结构与应力系统调控制造、多维表征与品质评价等技术，在航空航天、重大工程装备等领域进行试验验证。

考核指标：构建以极端服役性能为目标的宏微多尺度结构与应力系统调控精准制造原理与技术，并在超精密光学铝镜和超大承载铝环件制造中进行试验验证，其中光学铝镜直径 $\geq 300$  mm，表面粗糙度 $\leq Ra 2$  nm，面形精度优于 $1/30$  波长(波长=632.8nm)，衍射光学元件直径 $\geq 50$  mm，衍射效率 $\geq$ 理论值的80%；超大承载环件直径 $\geq 3$  m，抗拉强度 $\geq 450$  MPa，延伸率提升30%以上。

关键词：极端服役性能，多尺度结构，应力状态，系统调控，精准制造

## 2.2 光机电等多学科耦合重大装备智能优化设计方法（基础研究类）

研究内容：研究性能驱动的重大装备的光、机、热、电磁等多学科强耦合作用机理，开展多学科强耦合重大装备的智能优化设计理论与方法研究，建立多学科耦合的重大装备高保真代理模型，提出重大装备智能优化的并行设计方法，开发序贯采样主动学习和考虑制造容差的性能提升技术，形成多人作业和多任务并行的云端智能协同设计系统，在大口径高功率激光和电磁探测2类多学科强耦合装备设计中试验验证。

考核指标：形成光机电等多学科强耦合重大装备智能优化设

计理论与软件系统，涵盖物理场 $\geq 4$ 种，设计变量维度 $\geq 100$ ，智能代理模型 $\geq 5$ 种，将光机电等多学科耦合重大装备的优化设计时间由目前的100天以上，减少至10%以内，优化效率提高10倍，满足同时在线作业人数 $\geq 100$ ，动态变形、温差分布、光电指向等预测准确性 $\geq 95\%$ ，优化设计后米级口径以上装备的功能型面变形精度 $\leq 5\mu\text{m}/\text{m}$ ，功能型面最大温差 $\leq 2\text{ }^\circ\text{C}$ ，动态光电指向精度 $\leq 15\ \mu\text{rad}$ ，满足高温差（ $\pm 50\text{ }^\circ\text{C}$ ）、大过载（0~10 g）、强振（0~200 Hz）等使用要求。

关键词：重大装备，多学科耦合，智能设计，代理模型

### 2.3 复杂薄壁构件热力循环加载整体成形方法（基础研究类）

研究内容：研究热力循环加载下铝合金塑性变形和组织演变的交互作用机理、构件加工缺陷形成机制和组织性能演变规律，建立大型复杂薄壁构件热力循环加载整体成形的形性协同控制理论，提出薄壁铝合金构件整体成形跨尺度性能调控方法，开发整体薄壁构件成形技术，在航空航天异形薄壁构件整体制造中试验验证。

考核指标：形成复杂薄壁铝合金构件热力循环加载整体成形的材料—结构一体化理论及制造技术，在典型航空航天薄壁构件制造中进行试验验证；开发多尺度成形数值仿真模型，预测偏差 $\leq 15\%$ ；制作高性能薄壁铝合金试验件 $\geq 2$ 类，样件尺寸 $\geq 500\text{ mm}$ ，轮廓度 $\leq 0.5\text{ mm}$ ，抗拉强度 $\geq 430\text{ MPa}$ 。

关键词：循环加载，整体成形，形性一体化

## 2.4 大尺度超结构一体化设计制造理论（基础研究类）

研究内容：揭示大尺度结构构型、尺寸匹配及材料变形协调机制，研究大尺度超结构和子结构多层次表征方法和动态均质化方法；揭示大尺度结构静力学、振动力学、波动力学性能调控机理，研究波动能量时空调制方法和低频宽带隔振技术，形成高性能超结构力学性能分析与调控、振动控制与一体化设计和制造方法，研制高性能大尺度超结构模拟样件，并进行原理性试验验证。

考核指标：构建高性能超结构一体化设计制造理论与技术，形成大尺度结构力学性能分析、性能调控和振动控制一体化设计方法，可设计柔性大尺度空间结构尺寸  $\geq 1000$  m，指定传播路径上波传播的非互易度达到 50%，周期性超结构设计带隙频率  $\leq 50$  Hz，功能部件设计隔振频率  $\leq 5$  Hz；研制典型关键超结构样件：尺寸范围 5 m~15 m，超结构功能方向型面精度  $\leq 1\text{mmRMS}@ \phi 10\text{m}$ ，结构基频范围 0.1 Hz~1 Hz。

关键词：大尺度结构，超结构设计，波动行为，动力学分析

## 2.5 可展结构高精度表面创成及服役性能保持技术（基础研究类）

研究内容：研究大尺度可展结构的服役性能与拓扑构型—尺寸—材料—载荷等的映射关系，揭示空间极端服役环境下功能表面的性能演化机制，建立可展结构高精度表面创成与高可靠服役理论，提出可展结构多目标性能优化设计方法，开发可展结构高精度地面装调、空间极端服役环境功能表面精度原位监测等技术，

研发大尺度可展结构原理样机，并在航天、通讯导航等领域典型高端装备上试验验证。

考核指标：形成大尺度可展结构高精度表面设计方法；构建宽温域（-180 °C~130 °C）、零重力等极端服役环境下的结构性能预测与表面精度原位监测理论和技术；设计制造可展结构原理样机：高精度表面面积  $\geq 12 \text{ m}^2$ ，结构展收比  $\geq 8$ ，型面均方误差  $\leq 0.4 \text{ mm}$ ，重复展收精度  $\leq 0.1 \text{ mm}$ ，展开态基频  $\geq 1 \text{ Hz}$ ，服役寿命  $\geq 10$  年，服役期间型面精度波动  $\leq 0.3 \text{ mm}$ 。

关键词：可展结构，功能表面，高精度创成，服役性能保持，原位监测

## 2.6 超声—激光原位复合超精密切削理论与技术(基础研究类)

研究内容：研究原位超声激光复合超精密切削过程力热耦合作用机理，揭示多能场原位复合切削材料微观去除机制，提出超声、激光、刀具多参数协同优化方法，开发多维超声与原位激光复合精准调控技术，研制原位超声激光复合超精密切削装置，并在复杂构件超精密制造中试验验证。

考核指标：形成多维超声与原位激光复合超精密切削理论与技术，研制超声激光原位复合超精密切削装置，超声频率  $\geq 40 \text{ kHz}$ ，振幅  $\geq 3 \mu\text{m}$ ，振动轨迹稳定性误差  $\leq 3 \text{ nm}$ ，激光最大功率  $\geq 15 \text{ W}$ ，原位激光聚焦位置调控误差  $\leq 2 \mu\text{m}$ ，刀杆热稳定性  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ；加工黑色金属样件：表面粗糙度  $\leq \text{Sa } 8 \text{ nm}$ ，面形精度 PV 值  $\leq 2 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$ ；加工单晶硅样件：表面粗糙度  $\leq \text{Sa } 2 \text{ nm}$ ，面形精度

PV 值  $\leq 1\mu\text{m}/100\text{mm}$ ；在相同工况下与无超声激光原位复合的超精密切削相比，刀具寿命提升 3 倍以上。

关键词：难加工材料，超声振动，原位激光，复合能场，去除机制

### 2.7 超精密切削加工力温自体感知原理与技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：研究改性金刚石刀具在切削力和切削温度作用下的载流子迁移机理，建立改性金刚石刀具切削力、温自体感知理论，揭示切削力热电耦合机制，提出改性金刚石刀具切削力热电解耦方法，开发切削微区力温信号提取与处理、加工面形精度在线监测等技术，研制集加工感知功能于一体的金刚石刀具和超精密切削系统，在航天观测系统、火箭发动机固体推进剂等关键构件超精密加工中试验验证。

考核指标：形成金刚石刀具力温自体感知的超精密切削理论与技术，自体感知测温范围  $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，测温灵敏度优于  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，力感知范围  $0\sim 100\text{ N}$ ，测力灵敏度优于  $0.1\text{ mN}$ ，加工面形误差在线监测灵敏度优于  $10\text{ nm}$ ，采用力温自体感知技术使超精密切削构件精度提升 30%。

关键词：力温自体感知，智能刀具，超精密切削

### 2.8 异质曲面结构高性能共形制造理论与技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：研究聚酰亚胺/金等异质材料界面的形成机理，建

立金属/非金属异质曲面结构共形制造理论，揭示材料属性匹配、共形结构匹配、界面物理化学特征等对异质曲面构件高温服役稳定性的影响规律，开发层内与层间界面组织调控、异质曲面结构形性协同控制技术，在航天飞行器天线等典型异质曲面构件制造中试验验证。

考核指标：形成金属/非金属异质曲面结构共形制造理论与技术，开发共形制造原理样机，加工零件尺寸 $\geq 150\text{mm}\times 150\text{mm}\times 150\text{mm}$ ，定位精度优于 $5\mu\text{m}$ ；制备金属/非金属共形贴合曲面结构样件 $\geq 2$ 种，室温下样件界面结合强度 $\geq 20\text{MPa}$ ，样件加热到 $300^\circ\text{C}$ 以上服役温度后，水淬至室温无起皮脱落现象，共形界面曲率半径 $\leq 50\text{mm}$ ，曲率半径尺寸公差 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

关键词：异质结构，共形曲面，形性协同，共形制造

## **2.9 异质金属结构高性能焊铆复合连接技术（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：研究超低温冲击循环、高应力循环疲劳、长时效应力腐蚀服役条件下异质金属接头性能演化机理，建立大差异异质金属接头宏微观多尺度复合型界面调控理论，提出极端服役环境下异质金属复合结构寿命预测及可靠性评价方法，开发高强韧耐蚀异质金属结构焊铆复合连接技术，研发异质金属焊铆专用焊接材料和原理样机，在航天、航空等领域关键异质金属构件制造中试验验证。

考核指标：形成铝/钢等大差异异质金属结构焊铆复合连接理

论与技术，研发异质金属结构焊铆原理样机，自适应定位精度 $\pm 0.01\text{mm}$ ，可焊构件直径 $\geq 600\text{mm}$ 、壁厚 $\geq 5\text{mm}$ ，焊后圆度 $\leq 1\text{mm}$ ；实现大差异异质金属结构焊铆复合连接：强度系数 $\geq 0.9$ ， $-196^\circ\text{C}$ 低温冲击 50 次接头性能下降 $\leq 5\%$ ，密封漏率 $\leq 6.0 \times 10^{-9}\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ ；与焊接结构相比疲劳强度提升 30%、耐蚀性能提升 30%、减重 $\geq 50\%$ ；疲劳寿命预测误差 $\leq 1.5$  倍误差带。

关键词：异质金属结构，焊铆复合连接，接头性能，复合界面

## 2.10 同轴光学组件定心测量—调整—加工一体化技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：研究同轴光学组件测量—调整—加工中的定心性演化机理，构建同轴光学组件光学轴空间位姿与调整量关系模型，建立测量—调整—加工一体化协调匹配理论，开发光学组件调整力位协同精准控制、薄壁组件加工变形原位检测及抑制技术，研发精密测量—调整—加工一体化的同轴光学组件定心装置，在航天地面机动装备瞄准标校系统等同轴光学组件装调中试验验证。

考核指标：形成同轴光学组件定心测量—调整—加工一体化精密装调理论、技术与装置，实现同轴光学组件的精密高效装调：工件最大口径 400mm，透镜中心与机械轴偏移 $\leq 0.5\ \mu\text{m}$ ，光学轴相对机械轴偏角 $\leq 1''$ ，光学轴空间位置测量分辨率 $\leq 0.2\ \mu\text{m}$ 、光学轴空间姿态测量分辨率 $\leq 0.2''$ ，装调时间 $\leq 0.3\ \text{h}/\text{套}$ ；装调的同轴光学组件应用于航天地面机动装备瞄准标校系统，在 1500 m 范围内水平清晰度优于 400 线。

关键词：同轴光学组件，定心，测量—调整—加工，一体化装调

### **2.11 大型异质构件形性协同设计与整体成形技术（共性关键技术类）**

研究内容：研究材料—结构优化匹配的异形构件静动态性能、界面连接强度与轻量化多目标设计方法，突破不同膨胀系数金属—纤维多级热力能场几何成形精度调控、多层金属—纤维的界面性能调控与缺陷抑制、多类缺陷与多维度服役性能关联评价等关键技术，研发典型超长变截面箱型异质构件整体成形制造工艺与装备，在 2 类大型工程装备上应用。

考核指标：形成超长变截面箱型异质构件整体成形工艺与装备：有效成形范围  $\geq 12$  m，纤维铺放头定位精度  $\leq 0.03$  mm/m，纤维铺放张力  $\geq 30$  MPa；研制 2 类以上变截面、变厚度纤维复材—金属大型主承载构件，构件长度  $\geq 12$  m，承载弯矩  $\geq 400$  kN·m，全长直线度  $\leq \pm 5$  mm，截面线轮廓度  $\leq \pm 1$  mm，孔隙率  $\leq 1\%$ ，界面剪切强度  $\geq 35$  MPa；相比同等外形尺寸、相同压弯扭复合加载的高强金属构件，减重  $\geq 35\%$ ，疲劳寿命提高 1 倍以上；制定国家、行业或团体技术标准  $\geq 2$  项。

关键词：碳纤维—金属混杂，异质异型结构，超长变截面，整体成形，高纤维含量

### **2.12 高晶向性压电薄膜和金属电极沉积技术与装备（共性关键技术类）**

研究内容：研究集成旋转加热器、射频偏压、高温底盘及磁

控管、多脉冲快速切换、等离子清洗等薄膜沉积和预处理方法，突破连续旋转硅片、高膜厚分布同心度和低应力调节压电薄膜沉积，高结晶质量、高膜厚均匀性金属电极薄膜沉积，高均匀性等离子体晶圆预处理等关键技术，研发集磁控溅射、真空传输、分离阀和检测归位装置等功能模块于一体，且兼容多尺寸的集群式压电薄膜沉积装备，在功能化 MEMS 基片沉积加工中得到应用。

考核指标：形成高晶向性压电薄膜和金属电极沉积装备：集成腔室  $\geq 5$  个，适应基片尺寸 8、6、4 英寸，真空度  $\leq 8 \times 10^{-8}$  Torr，AlN 薄膜沉积速率  $\geq 50$  nm/min，预处理均匀性  $\leq 3\%$ （20nm SiO<sub>2</sub> 薄膜刻蚀验证）；在功能化 MEMS 基片沉积压电薄膜：晶向性 FWHM  $\leq 1.5^\circ$ ， $g_{33} \geq 80 \times 10^{-3}$  Vm/N，厚度均匀性  $\leq 1\%$ ，应力  $\leq 200$  MPa；制定国家、行业或团体技术标准  $\geq 2$  项。

关键词：集群式，压电薄膜，高晶向性，高均匀性，MEMS

### **2.13 400 米深水超高频脉冲电弧原位焊接技术与装备（共性关键技术类）**

研究内容：研究高湿高压气氛和强热耗散环境干法水下焊接电弧控制、焊接缺陷产生机理及检测评价方法，突破热力耦合条件水下焊接过程自动规划及焊缝形性调控、多模块数字化集成与自动化作业协同控制等关键技术，研制数字超高频高动特性水下焊接电源，开发原位干法水下焊接遥操作作业舱等焊接修复装备，在油气管道、海工装备等模拟场景下进行水下修复试验验证。

考核指标：形成集测量定位—路径规划—开坡口—焊接修复

于一体的水下遥操作焊接作业系统：最大作业水深  $\geq 400$  m，最大修复范围  $\geq 1000$  mm，水下焊接速度  $\geq 0.6$  m/min，水下焊缝质量达到Ⅱ级以上，焊缝缺陷检测灵敏度：体积型缺陷  $\geq \phi 1$  mm $\times$ 5 mm、面积型缺陷  $\geq 5$  mm（长） $\times$ 1 mm（深），焊缝抗拉强度和冲击强韧性达到母材性能的 90% 以上；研制数字超高频高动特性水下焊接专用电源系统：逆变频率  $\geq 200$  kHz，额定电流  $\geq 630$  A，响应时间  $\leq 300$   $\mu$ s；制定国家、行业或团体技术标准  $\geq 2$  项。

关键词：水下干式焊接，原位修复，超高频焊接电弧，焊缝形性调控

#### 2.14 大型轻合金构件高强韧低变形焊接技术(共性关键技术类)

研究内容：研究高强度轻合金构件全位姿高能密度焊接过程多场耦合协同调控方法，突破多元素多目标参量耦合的高匹配焊接材料精细设计、多物理场耦合的焊接缺陷/组织性能/应力变形精准预测、动态工况下的焊接全过程形性协同在线调控等关键技术，研制适用于快速温度变化的高灵敏焊缝质量在线监测系统，开发自适应调控的高能密度焊接装备，在能源装备、轨道交通等主承载构件制造中应用。

考核指标：开发 6 轴大型智能高能密度焊接装备：有效焊接范围  $\geq 25$  m $\times$ 4 m $\times$ 2 m，单道熔透厚度  $\geq 25$  mm，熔深在线检测精度优于 0.5 mm，500 mm 连续焊缝熔深波动  $\leq 5\%$ ，25 mm 厚焊缝气孔缺陷超声相控阵检测最小直径  $\phi 0.3$  mm；研制大型高强度轻合金构件焊接仿真软件 1 套，焊接数据记录  $\geq 5$  万条，变形预测

精度 $\geq 95\%$ ，疲劳寿命预测误差在 $\pm 10\%$ 以内；钛合金制造示范件 $\geq 1$ 件、铝合金制造示范件 $\geq 2$ 件，开发专用焊接材料 $\geq 2$ 种，构件最大尺寸 $\geq 25\text{m}$ ，厚度 $\geq 25\text{mm}$ ，高强度钛、铝合金接头强度系数分别 $\geq 0.95$ 、 $\geq 0.85$ ，延伸率分别 $\geq 15\%$ 、 $\geq 10\%$ ，疲劳强度 $\geq$ 母材疲劳强度的 $70\%$ ，变形量 $\leq 0.2\text{ mm/m}$ ；制定国家、行业或团体技术标准 $\geq 2$ 项。

关键词：高强度轻合金，高能密度，焊接材料，高强韧低变形，全位姿智能焊接

### 2.15 大型构件高精度装配力位协同测量与溯源技术（共性关键技术类）

研究内容：研究大型构件空间全局定位及力位协同测量等方法，突破现场大范围空间目标高精度定位、六自由度空间运动位姿、大质量负载力感量等高精度溯源技术，研发大型构件高精度数字化装配的空间定位测量设备，研制面向大型构件数字化装配工艺的高能力位协同测量平台，在航空、发电、高铁等领域开展不少于3类装备的大型构件装配过程高精度测量验证。

考核指标：研制大型构件装配过程高能力位协同测量平台1套，测量范围 $\geq 60\text{ m}\times 60\text{ m}\times 15\text{ m}$ ，全局定位精度优于 $150\text{ }\mu\text{m}$ ，角度测量精度优于 $0.01^\circ$ ，构件的全局形变测量精度优于 $10\text{ }\mu\text{m}$ ；定位溯源标准不确定度优于 $50\text{ }\mu\text{m}$ ，角度溯源标准不确定度优于 $0.003^\circ$ ；六自由度运动位姿动态校准标准不确定度优于 $1\%$ ；质量

测量范围 0~5 t, 力感量优于  $8 \times 10^{-7}$  FS; 时间同步精度优于 1 ms; 实现装配精度提升 20%、装配周期缩短 20%; 制定国家计量技术规范  $\geq 3$  项。

关键词: 大型构件, 高精度装配, 空间定位, 六自由度运动, 大质量力感量

### 2.16 8 米级异型构件精准热处理工艺与装备成套技术 (共性关键技术类)

研究内容: 研究 8 米级超大异型环筒件热处理过程温度—组织—应变多场耦合仿真、全流程畸变精准预测和精密形性联调方法, 突破超大体积炉膛高温精控、异型构件等热阻比调控、超大异型件热处理近零畸变控制、强度韧性协同优化等关键技术, 研发超大异型环筒件热处理成套装备, 在能源装备、工程装备、海工装备等大型构件热处理中得到应用。

考核指标: 形成超大异型环筒件精准热处理工艺及典型件材料—工艺—组织—性能数据库, 研制热处理装备: 有效工作区  $\geq 8 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ , 最高炉温  $\geq 1050 \text{ }^\circ\text{C}$ , 炉温均匀性  $\leq \pm 6 \text{ }^\circ\text{C}$ , 冷却过程中构件各部位等效热阻比偏差  $\leq \pm 5\%$ ; 8 米级超大异型环筒件热处理前后径向变形量  $\leq 2\%$ , 平面变形量  $\leq 1.5\%$ , 抗拉强度  $\geq 820 \pm 30 \text{ MPa}$ , 室温冲击韧性  $\geq 50 \text{ J}$ , 低温冲击韧性  $\geq 27 \text{ J}$ ; 制定国家、行业或团体技术标准  $\geq 2$  项。

关键词: 超大异型环筒件, 精准热处理, 多场耦合仿真, 热处理自动化装备

### 2.17 近零畸变真空脉冲渗碳强韧化处理技术(共性关键技术类)

研究内容: 研究变渗碳脉冲的渗层精细化控制工艺、真空低压脉冲渗碳的组织—变形—性能协同调控方法, 突破超细弥散碳化物渗层碳梯度曲线优化、典型零件真空热处理过程组织与变形精确预测、弥散碳化物渗碳和淬火等多工艺参数协同优化控制等关键技术, 研发集成渗碳、淬火、回火等多工序的绿色智能真空热处理装备与工艺软件, 在工程机械、矿山机械等轴承、齿轮上得到应用。

考核指标: 形成绿色真空脉冲渗碳工艺与装备: 有效加热区  $\geq 800\text{mm} \times 800\text{mm} \times 800\text{mm}$ , 极限真空度  $\leq 4 \times 10^{-1} \text{ Pa}$ , 最高工作温度  $\geq 1300 \text{ }^\circ\text{C}$ , 炉温均匀性  $\leq \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ , 渗碳脉冲周期  $\leq 120 \text{ s}$ , 空炉损耗功率比一等; 研发工艺设计软件 1 套: 有效硬化层深度预测精度优于  $\pm 0.05 \text{ mm}$ ; 在轴承、齿轮等不少于 2 类基础件、4 种规格产品上得到应用, 表面碳化物级别达到 1~2 级, 表面硬度 64~67 HRC, 硬度均匀性优于  $\pm 1.5 \text{ HRC}$ , 变形量  $\leq 0.1\%D$  ( $D \geq 400 \text{ mm}$ ); 制定国家、行业或团体技术标准  $\geq 2$  项。

关键词: 真空脉冲渗碳, 弥散碳化物, 渗层精细化, 疲劳强度, 近零畸变

### 2.18 大面积高功率脉冲离子束强韧与光整复合改性技术(共性关键技术类)

研究内容: 研究高功率脉冲离子束复合改性的热—力耦合效应、表面非晶和纳微晶梯度组织的强韧化机理、可控表面完整性

的光整化加工过程印记理论,突破大面积高重频的高功率离子束、非平衡梯度组织精准调控强韧改性及与光整加工协同优化等技术,研发大面积高功率脉冲离子束复合改性集成工艺装备,在石化行业高压机械密封等得到应用。

考核指标:形成大面积高功率脉冲离子束表面复合改性集成工艺与装备:离子束功率密度 $\geq 0.5 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$ ,束斑面积 $\geq 6 \text{ cm}^2$ ,脉冲频率 $\geq 0.1 \text{ Hz}$ ;在不少于3类轴径70~100 mm的硬质合金高压机械密封件应用,改性的硬质合金表面粗糙度 $< \text{Ra } 0.8 \mu\text{m}$ ,波纹度轮廓的平均间距 $W_{sm} = 0.2 \sim 1 \text{ mm}$ ,与石墨的干摩擦系数 $\leq 0.5$ ,硬度提高30%以上,达到HV 15GPa以上,耐磨性提升 $\geq 2$ 倍;制定国家、行业或团体技术标准 $\geq 2$ 项。

关键词:高功率脉冲离子束,表面复合改性,表面完整性,高压机械密封

### **2.19 高稳定绿色化电镀工艺技术与成套装备(共性关键技术类)**

研究内容:研究在线原位分离镀液杂质离子与电镀出水的高稳定绿色化电镀工艺与方法,突破镀液杂质金属离子可控在线循环分离与镀层稳定性控制、电镀出水金属离子的在线原位分离纯化浓缩与回槽使用、电镀出水多级耦合分离与高通量产水等关键技术,研发高稳定绿色化电镀工艺与成套装备,在大型工程机械液压件、销轴等不少于2类关键零部件制造中得到应用。

考核指标:形成高稳定绿色化电镀工艺与成套装备:镀液杂质金属离子去除速率达到 $0.2 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 以上,电镀出水金属离

子返槽液浓度  $\geq$  槽液浓度 1.5 倍，返槽液杂质钠离子浓度  $\leq 100$  mg/L；镀层连续优品率保持时间  $\geq 8$  年（加速试验）；镀液杂质金属离子浓度总和  $\leq 10$  g/L，电镀电压降低  $\geq 2$  V，节能  $\geq 50\%$ ，电镀出水电镀金属离子回用率  $\geq 98\%$ ，水回用率  $\geq 95\%$ ；制定国家、行业或团体技术标准  $\geq 2$  项。

关键词：电镀，镀层质量，绿色工艺，在线分离，原位处理

### 3 集成应用示范

#### 3.1 聚乙烯装置 260MPa 级基础件高可靠设计制造技术及应用（应用示范类）

研究内容：研究聚乙烯装置超高压基础件设计方法，突破超高压反应器高强韧筒体性能调控与表面精密加工、超高压压缩机缸体/柱塞/气阀高性能制造与气流脉动抑制、超高压泵阀精密制造与流量控制、超高压动/静密封等关键技术，研制超高压反应器、压缩机、供料泵、控制阀，在高压聚乙烯（LDPE）或乙烯-醋酸乙烯共聚物（EVA）等石化聚乙烯装置中应用示范。

考核指标：形成 260 MPa 级超高压基础件设计方法与高性能制造技术；研制 4 类超高压基础件：超高压反应器，温度  $\geq 300$  °C、压力  $\geq 260$  MPa、寿命  $\geq 40$  年，密封泄漏率  $\leq 10^{-5}$  Pa·m<sup>3</sup>/s；超高压压缩机，压力  $\geq 260$  MPa、额定功率  $\geq 6000$  kW；超高压供料泵，压力  $\geq 350$  MPa、额定流量  $\geq 40$  L/h、流量控制精度  $\leq 1\%$ ；超高压控制阀，温度  $\geq 300$  °C、压力  $\geq 260$  MPa、流量和压力控制精度  $\leq 1.5\%$ 。技术就绪度  $\geq 8$  级，研制的超高压基础件通过第三方机

构性能测试（包括反应器泄漏率与筒体断裂韧性；压缩机压力与功率；供料泵压力、流量及控制精度；控制阀压力、流量及控制精度），MTBF $\geq$ 4000 h，产品在 1~2 家企业应用示范。制定国家、行业或团体技术标准 $\geq$ 2 项。

有关说明：超高压反应器、压缩机、供料泵、控制阀 4 类核心基础件性能指标由具备资质的第三方单位检测，在高压聚乙烯（LDPE）或乙烯-醋酸乙烯共聚物（EVA）等石化聚乙烯装置中的应用情况由用户单位提交应用示范报告。

关键词：超高压基础件，压力容器，压缩机，泵阀，密封

### **3.2 500MW 级冲击式水轮机转轮高强韧制造技术及装备（应用示范类）**

研究内容：研究大型冲击式水轮机转轮设计与优化方法，研发超大超厚轮毂锻件冶—锻—热一体化强韧工艺，突破超大轮毂和水斗高精度加工、复合能场焊接与表面喷涂关键技术，开发超大轮毂和水斗高精度加工—测量一体化、高效复合能场焊接与表面喷涂等装备，研制超大型冲击式水轮机转轮，在单机容量 500 MW 级冲击式水轮机组中应用示范。

考核指标：提出冲击式水轮机转轮型线设计方法，形成转轮轮毂和水斗锻造、加工、焊接、表面喷涂等制造工艺。研制轮毂和水斗高精度加工—测量一体化装备：直线轴定位精度优于 $\pm 20 \mu\text{m}$ 、面型加工精度优于 60%标准值；研制轮毂/水斗焊接装备：焊接厚度 $\geq 250 \text{ mm}$ 、接头冲击韧性  $KV_2(0^\circ\text{C}) \geq 80 \text{ J}$ ；研发轮

轂/水斗表面喷涂装备：涂层结合强度 $\geq 80$  MPa、MTBF $\geq 8000$  h。  
研制 500 MW 级超大型冲击式水轮机转轮：直径 $\geq 6$  m、屈服强度 $\geq 600$  MPa、冲击韧性 $KV_2(0^\circ\text{C}) \geq 100$  J（法兰盘螺栓孔处纵向试样、法兰盘端面切向试样）、设计寿命 $\geq 30$  年。技术就绪度 $\geq 8$  级。

有关说明：轮轂/水斗高精度加工—测量一体化装备、焊接装备、表面喷涂装备等性能指标由具备资质的第三方单位检测，研制的 500 MW 级超大型冲击式水轮机转轮由用户单位提交应用示范报告。

关键词：一体化强韧，异形加工，复合能场焊接，表面强化

### **3.3 200 米级超长重型起重机设计制造技术及装备(应用示范类)**

研究内容：研究超长重型单主臂起重机臂架的构型创新与轻量化设计方法，突破高强钢桁架自动焊接、超高强钢箱型结构高可靠焊接、超长重载起重作业位姿精准控制等关键技术，开发自动焊接装备、智能作业控制系统，研制 200 米级超长重型起重成套装备，在陆上风电等大型工程吊装施工中进行应用示范。

考核指标：建立超长重型单主臂起重机的臂架设计方法，实现最大臂长、最大起重量工况下的起重力矩与臂架自重比值 $\geq 25$ ；研发高强钢桁架自动焊接装备：焊接可达率 $\geq 90\%$ ，桁架结构弯曲变形 $\leq 4\text{mm}/10\text{m}$ 、扭曲变形 $\leq 3\text{mm}/10\text{m}$ ；研发超高强钢箱型结构高可靠焊接装备：自适应间隙 $\geq 4$  mm，转台底板平面度 $\leq 2$  mm、垂直度 $\leq 3$  mm；Q1030 级别以上超高强钢关键焊缝

(JB/T5058 焊缝重要等级分类) 接头强度系数  $\geq 0.85$ , 关键焊缝质量达到 GB/T 19418 缺陷质量分级限值的 B 级; 研发智能作业系统: 具备环境感知、路径规划、自动避障、精准控制功能, 最长臂长吊装一次就位精度  $\leq 400$  mm、钢丝绳摆角  $\leq 1^\circ$ , 最大作业效率提升  $\geq 50\%$ ; 研发超长重型单主臂起重装备: 单主臂长  $\geq 210$  m 且最大臂长时的最大起重量  $\geq 200$  吨。技术就绪度  $\geq 8$  级。

有关说明: 高强钢桁架自动焊接装备、超高强钢箱型结构高可靠焊接装备等性能指标由具备资质的第三方单位检测, 研制的超长重型起重装备由用户单位提交应用示范报告。

关键词: 超高强钢焊接, 超长重载, 起重机, 臂架, 高可靠

### 3.4 工程装备复杂服役条件模拟试验技术与平台 (应用示范类)

研究内容: 研究工程装备复杂服役环境下“大温差—多轴振动—动载荷”耦合环境拟态加载方法, 研究多场耦合环境下“部件—系统”的失效机理以及多系统动态响应特性分析技术, 研发部件—系统的动态服役性能试验数据库及试验数字孪生系统, 制定等效映射的多系统响应特性试验规范及多系统动态响应特性评价体系, 研制工程装备复杂环境及工况模拟试验平台, 实现起重机械、泵送机械等工程装备在高温差—大载荷—强震动等复杂环境下部件—系统的服役性能研究和考核验证。

考核指标: 研制工程装备复杂环境及工况模拟试验台: 环境舱  $\geq 10$  m $\times$ 10 m $\times$ 5 m, 试验样件缩尺比  $\geq 1:10$ ; 具备环境—振动、动载荷的加载能力: 环境温差  $-40^\circ\text{C}\sim 60^\circ\text{C}$ , 升温/降温速率  $\geq$

0.4°C/min，湿度 10%~95% RH；振动激励源 ≥ 4 个，位移 ≥ 100 mm，频率 ≥ 50 Hz，至少一个作动器最大动态加载能力不低于 ±1000 kN；可模拟多关节协同作业等 3 种典型复杂工况。建立装备性能、动态响应、故障模式等试验数据库；完成 2 类以上工程装备在高温差、强振、大载荷等复杂环境与复杂工况下，回转、变幅等多机构协同作业的模拟试验；制定国家、行业或团体技术标准 ≥ 3 项。

关键词：复杂服役环境，强动变载荷，多场耦合环境加载，加速载荷谱

## **“高性能制造技术与重大装备”重点专项 2023 年度“揭榜挂帅”榜单**

为深入贯彻落实国家科技创新有关部署安排，切实加强创新链和产业链对接，“高性能制造技术与重大装备”重点专项聚焦国家战略亟需、应用导向鲜明、最终用户明确的重大攻关需求，凝练形成 2023 年度“揭榜挂帅”榜单，现将榜单任务及有关要求予以发布。

### **一、申报说明**

本批榜单拟启动 1 个项目，共拟安排国拨经费不超过 4000 万元。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 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

榜单申报“不设门槛”，项目牵头申报和参与单位无注册时间要求，项目（课题）负责人无年龄、学历和职称要求。申报团队数量不多于拟支持项目数量的榜单任务方向，仍按程序进行项目评审立项。明确榜单任务资助额度，简化预算编制，经费管理探索实行“负面清单”。

### **二、攻关和考核要求**

揭榜立项后，揭榜团队须签署“军令状”，对“里程碑”考核要求、经费拨付方式、奖惩措施和成果归属等进行具体约定，并将榜单任务目标摆在突出位置，集中优势资源，全力开展限时攻

关。项目（课题）负责人在揭榜攻关期间，原则上不得调离或辞去工作职位。

项目实施过程中，将最终用户意见作为重要考量，通过实地勘察、仿真评测、应用环境检测等方式开展“里程碑”考核，并视考核情况分阶段拨付经费，实施不力的将及时叫停。

项目验收将通过现场验收、用户和第三方测评等方式，在真实应用场景下开展，并充分发挥最终用户作用，以成败论英雄。由于主观不努力等因素导致攻关失败的，将按照有关规定严肃追责，并依规纳入诚信记录。

### 三、榜单任务

#### 1. 大型客机机体谱系化批产柔性总装及智能管控系统与装备（应用示范类）

研究内容：突破大场景时变状态的多源融合自适应感知、跨尺度承力结构复杂贴合面力形耦合调控、柔性移载定位协同运动控制、群孔多约束薄壁结构均匀干涉高可靠连接等关键技术，研发机身、翼身总装移载柔性对接、高精度装配加工、舱内环缝柔性制孔与连接等关键装备，开发产线装测过程动态仿真与优化、全要素连接的动态生产管控、在线感知的装配与测试生产执行等软件，构建总装批产装测线的智能管控系统；集成构建大型客机机体谱系化批产的柔性总装生产线，在国产大型客机批产总装中得到示范应用。

考核指标：研发机身、翼身总装移载柔性对接装备，定位精

度优于 $\pm 0.05$  mm，对接水平方向入位力值 $\leq 4$  kN；高精度装配加工装备，装配间隙补偿精度优于 $\pm 0.15$  mm；舱内制孔与连接装备，定位精度优于 $\pm 0.3$  mm，制孔精度 H9；构建批产装测线智能管控平台，单机物料符合性跟踪能力 $\geq 10$  万级，综合智能排产要素 $\geq 20$  个，生产要素互联互通率 $\geq 90\%$ ，产能数据管控要求 $\geq 50$  架/年，产线设备故障延误率减少 50%；实现大型客机批产总装产线系统集成，满足加长型、基本型、缩短型多构型混线总装，机身总装对接尺寸 $\geq \text{Ø}3.8$  m $\times$ 38 m，翼身对接尺寸 $\geq 35$  m，实现批产总装。技术就绪度 $\geq 8$  级。制定国家标准草案 1 项。

有关说明：由企业牵头申报，配套经费与国拨经费比例不低于 3:1。研发时限为 3 年，立项 1 年和 2 年后开展“里程碑”考核。

榜单金额：不超过 4000 万元。

关键词：大型客机，总装产线，柔性装配，智能管控，全要素连接

# **“高性能制造技术与重大装备”重点专项 2023 年度项目申报指南和榜单形式审查条件要求**

申报项目须符合以下形式审查条件要求。

## **1. 推荐程序和填写要求**

(1) 由指南规定的推荐单位在规定时间内出具推荐函。

(2) 申报单位同一项目须通过单个推荐单位申报，不得多头申报和重复申报。

(3) 项目申报书（包括预申报书和正式申报书，下同）内容与申报的指南方向相符。

(4) 项目申报书及附件按格式要求填写完整。

## **2. 申报人应具备的资格条件**

(1) 项目（课题）负责人应为 1963 年 1 月 1 日以后出生，具有高级职称或博士学位。

(2) 青年科学家项目负责人应具有高级职称或博士学位，男性应为 38 周岁以下（1985 年 1 月 1 日以后出生），女性应为 40 周岁以下（1983 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。

(3) 受聘于内地单位的外籍科学家及港、澳、台地区科学家可作为项目（课题）负责人，全职受聘人员须由内地聘用单位提供全职聘用的有效材料，非全职受聘人员须由双方单位同时提供

聘用的有效材料，并作为项目预申报材料一并提交。

(4) 参与重点专项实施方案或本年度项目指南编制的专家，原则上不能申报该重点专项项目（课题）。

(5) 诚信状况良好，无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。

(6) 中央和地方各级国家机关的公务人员（包括行使科技计划管理职能的其他人员）不得申报项目（课题）。

(7) 项目申报人员满足申报查重要求。

### **3. 申报单位应具备的资格条件**

(1) 在中国大陆境内登记注册的科研院所、高等学校和企业等法人单位。国家机关不得作为申报单位进行申报。

(2) 注册时间在2022年6月30日前。

(3) 诚信状况良好，无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。

### **4. 本重点专项指南规定的其他形式审查条件要求**

(1) “揭榜挂帅”项目（课题）负责人无年龄、学历和职称要求，项目牵头申报和参与单位无注册时间要求。

(2) 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。

**本专项形式审查责任人：刘进长**

## “智能传感器”重点专项 2023 年度 项目申报指南

(仅国家科技管理信息系统注册用户登录可见)

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“智能传感器”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2023 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：以战略性新兴产业、国家重大基础设施和重大工程、生命健康保障等重大需求为牵引，系统布局智能传感基础及前沿技术、传感器敏感元件关键技术、谱系化智能传感器及系统应用、传感器研发支撑平台，一体化贯通智能传感器设计、制造、封装测试和应用示范环节，到 2025 年实现传感器创新研制支撑能力明显改善，产业链关键环节技术能力显著增强，若干重点行业和领域的核心传感器基本自主可控，专项推动传感器产业可持续发展。

2023 年度指南部署坚持需求牵引、场景驱动、强化体系、协同发展的原则，围绕智能传感基础及前沿技术、传感器敏感元件关键技术、谱系化智能传感器及系统应用、传感器研发支撑平台等 4 个技术方向，按照基础研究、共性关键技术和应用示范三个层面，拟启动 35 项指南任务，拟安排国拨经费 4.76 亿元。其中，

在智能传感基础及前沿技术方向，部署青年科学家项目，每个项目 200 万元；在传感器敏感元件关键技术方向，部署科技型中小企业项目，每个项目 200 万元。为充分调动社会资源投入智能传感器的技术创新，共性关键技术类项目的配套经费与国拨经费比例不低于 1.5:1；应用示范类项目的配套经费与国拨经费比例不低于 2.5:1。应用示范类项目由企业牵头申报。

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 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。

青年科学家项目不要求对指南内容全覆盖，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 1985 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1983 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。

科技型中小企业项目要求由科研能力强的科技型中小企业牵头申报。项目下不设课题，项目参加单位（含牵头单位）原则上不超过 2 家，原则上不再组织预算评估，在验收时将对技术指标完成和成果应用情况进行同步考核。科技型中小企业标准参照

科技部、财政部、国家税务总局印发的《科技型中小企业评价办法》(国科发政〔2017〕115号)。

## **1 智能传感基础及前沿技术**

### **1.1 太赫兹源—测集成技术及传感器(基础研究类)**

研究内容: 太赫兹探测在物质内部结构测量、缺陷分析等领域具有优势, 但存在集成度低、体积大等问题。研究可调谐太赫兹电磁波源微型化技术; 研究太赫兹敏感元件微型化、阵列化设计与源—测集成制造关键技术; 研究太赫兹波束控制和信号处理技术; 研制源—测集成太赫兹微型传感器。

考核指标: 建立太赫兹源—测集成感知模型; 传感器中心频率范围 100GHz~500GHz, 辐射与散射检测动态范围  $\geq 50\text{dB}$ , 频率分辨力  $\leq 1\text{kHz}$ ; 扫描幅宽与检测分辨力之比  $\geq 1000$ , 检测厚度与分辨力之比  $\geq 10$ ; 源—测集成太赫兹传感器体积  $\leq 5\text{cm}^3$ ; 阵列规模  $\geq 2 \times 2$ ; 至少 1 项技术在前沿领域达到国际先进水平; 在复合材料缺陷检测、食品药品成分检测等至少 2 个场景开展技术验证, 提出相应场景下的传感器检测厚度, 并明确可检测缺陷类型及特征指标。

关键词: 固态倍频源, HEMT 探测器, 物质光谱, 结构成像

### **1.2 微机电双谐振差频传感机理及温度传感器(基础研究类)**

研究内容: 微机电双谐振差频传感技术在高集成度温度测量领域具有优势, 但存在谐振调制机理不完善、测量分辨力低等问题。研究微机电双谐振差频增敏方法; 研究低能量损耗谐振耦合结构与频率—温度相关系数的调控方法; 研究与 CMOS 工艺兼容的微机电

双谐振器批量制备技术；研究微弱传感信号处理和高精度标校的低噪声 CMOS 芯片技术；研制芯片级微机电双谐振差频温度传感器。

考核指标：建立芯片级微机电双谐振差频温度传感器模型；谐振器频率范围 30MHz~80MHz，品质因子  $\geq 3 \times 10^5$ ，动态阻抗  $\leq 50\text{k}\Omega$ ，体积  $\leq 0.1\text{mm}^3$ ，频差—温度线性相关系数  $\geq 20\text{Hz/K}$ ；温度传感器（含 CMOS 芯片）分辨力  $\leq 20\mu\text{K}$ ，精度优于  $3\text{mK}@(-40^\circ\text{C}\sim 85^\circ\text{C})$ ；传感器体积  $\leq 5\text{mm} \times 3.5\text{mm} \times 1\text{mm}$ ；至少 1 项技术在前沿领域达到国际先进水平；支撑高精度晶振和窄线宽激光器等器件的研制，并开展技术验证。

关键词：谐振器，差频调控，品质因子

### 1.3 仿神经丘感算一体技术及微压流场传感阵列（基础研究类）

研究内容：流场仿生感知具有高灵敏、高动态的优势，但存在感算机理不完善、流场测量实时性差等问题。研究仿神经丘流场感知增敏机制与感算一体模型；研究微压流场高分辨仿生阵列敏感元件设计与低维敏感材料制造技术；研究敏感元件与神经形态信号处理器件集成技术；研究流速、差压高精度校准方法；研制感算一体微压流场传感器件。

考核指标：建立仿神经丘微压流场感知仿生增敏与感算一体模型；流速极限分辨力  $\leq 0.05\text{mm/s}$ ，流速量程  $\geq 5\text{m/s}$ ，精度优于 1%FS；差压极限分辨力  $\leq 0.01\text{Pa}$ ，差压量程  $\geq 200\text{Pa}$ ，精度优于 0.4%FS；处理器件响应时间  $\leq 10\text{ns}$ ，单脉冲能耗  $\leq 20\text{fJ}$ ；传感器的敏感元件阵列数  $\geq 32$ ；至少 1 项技术在前沿领域达到国际先进

水平；在水下机器人、无人潜航器流场感知等场景开展技术验证。

关键词：流场感知，感算一体，仿生学

#### **1.4 摩擦电调控场效应作用机理及触觉传感技术研究（基础研究类）**

研究内容：摩擦电原理具有实现高精度触觉传感的潜在优势，但存在传感机理不完善、空间分辨力提高困难等问题。研究摩擦电与半导体场效应的耦合作用机理以及触觉感知方法；研究摩擦电调控半导体光学、电学特性的方法与敏感材料制备技术；研究摩擦电触觉敏感元件的设计与制造技术；研制具有接近觉、压觉及其分布成像的触觉传感器。

考核指标：建立基于摩擦电与场效应耦合作用的触觉传感理论模型；传感器接近觉分辨力 $\leq 1\text{mm}$ ，检测距离上限 $\geq 60\text{mm}$ ；压觉分辨力 $\leq 1\text{Pa}$ ，检测压强上限 $\geq 200\text{kPa}$ ；触觉分布成像分辨力 $\geq 10000\text{PPI}$ ；传感器敏感元件面积 $\geq 3\text{mm}\times 3\text{mm}$ ；至少 1 项技术在前沿领域达到国际先进水平；在机器人主动避障、物体纹理识别等至少 2 个场景开展技术验证。

关键词：摩擦电调控，半导体敏感材料，触觉，传感器

#### **1.5 框架核酸的分子识别机理及生物传感器研究（基础研究类）**

研究内容：框架核酸具有实现低浓度疾病标志物精准识别的潜在优势，但存在分子识别和传感机制不明晰等问题。研究框架核酸生物传感机理；研究框架核酸精准组装技术；研究框架核酸阵列结构设计与制备技术；研究多维度分子识别的框架核酸传感

界面反应调控技术；研制框架核酸高灵敏生物传感器。

考核指标：建立框架核酸高灵敏生物传感模型，框架核酸种类不少于 50 种；核酸类检测下限  $\leq 10\text{aM}$ ，蛋白类检测下限  $\leq 10\text{pM}$ ，小分子类检测下限  $\leq 100\text{nM}$ ；相对标准偏差  $\leq 10\%$ ；至少 1 项技术在前沿领域达到国际先进水平；针对不少于 3 类疾病标志物检测，开展临床验证。

关键词：框架核酸，生物传感，高灵敏检测

### 1.6 荧光纳米复合材料传感机理及生物传感器研究（基础研究类）

研究内容：荧光纳米材料在构建快速可视化生物传感领域具有潜在优势，但由于荧光量子产率低，存在检测限难以提高的问题。研究新型荧光纳米复合材料的设计和制备方法；研究荧光纳米复合材料对病原菌的特异性识别机制；研究材料表界面调控技术与传感信号增强机制；研究低丰度病原菌的高特异性捕获和富集技术；研制高灵敏荧光生物传感器。

考核指标：建立新型荧光纳米复合材料生物传感模型；荧光量子产率  $\geq 10\%$ ，单次检测的样本体积  $\leq 200\mu\text{L}$ ，检测时间  $\leq 30\text{min}$ ，检测限  $\leq 10^3\text{CFU/mL}$ ；平行检验的相对标准偏差  $\leq 10\%$ ；至少 1 项技术在前沿领域达到国际先进水平；在口腔健康或传染性疾病预防等研究领域，开展不少于 3 种典型病原微生物检测的技术验证。

关键词：荧光纳米复合材料，高灵敏，生物传感器

## 1.7 柔性压电复合材料力电耦合调控方法及结构共形器件 (基础研究类)

研究内容: 柔性压电材料具有感驱一体且可共形制造的优势,但由于力电耦合效率低,存在感知灵敏度与驱动力等提升困难的问题。研究大变形下力电耦合失稳机制与感驱一体机理;研究柔性压电复合材料的高效力电耦合模型与工艺技术;研究压电复合材料的共形结构设计与集成制造技术;研制感驱一体共形器件。

考核指标: 建立柔性压电复合材料力电热等多物理场耦合理论模型;材料等效压电常数 $\geq 1000\text{pC/N}$ ;循环加载条件下的力电耦合效率 $\geq 10\%$ ;复合材料结构厚度 $\geq 1\text{mm}$ 时适应弯曲半径 $\leq 15\text{mm}$ ,单位体积驱动力 $\geq 2\text{mN/mm}^3$ ,应变灵敏度 $\geq 10\text{mV}/\mu\epsilon$ ,应变精度优于 $1\%\text{FS}$ ,检测应变上限 $\geq 3000\mu\epsilon$ ;适用于弹性模量范围不少于3个数量级的表面共形集成;至少1项技术在前沿领域达到国际先进水平;在扑翼机、软体机器人等场景开展技术验证。

关键词: 传感驱动一体化,压电复合材料,共形制造

## 1.8 敏感材料组分有序调控工艺及跨尺度共体传感器(基础研究类)

研究内容: 微纳结构的敏感材料有序调控具有实现传感器与装备部件共体界面性能可控的优势,但存在组分调控工艺机理不明晰、跨尺度精密共体制造难等问题。研究共体部件与跨尺度传感器微纳结构的材料-结构系统设计方法;研究液相复合材料类型与工艺适配方法;研究复合材料功能组分纳米级有序调控机理;

研究力敏微纳传感结构阵列的场诱导制造工艺；研制与装备部件共体的跨尺度微弱动态力传感器。

考核指标：建立液相复合材料功能组分有序调控工艺及跨尺度共体制造规范；敏感微纳结构的最小调控特征尺寸 $\leq 100\text{nm}$ ，阵列数 $\geq 2$ 万个；传感器薄膜平面尺寸 $\geq 200\text{mm}\times 200\text{mm}$ ，厚度 $\leq 2\text{mm}$ ；微弱动态力传感器可实现正压力和剪切力同时测量，量程 $\geq 100\mu\text{N}$ ，测量误差优于 $\pm 1\mu\text{N}$ ，分辨力 $\leq 10\text{nN}$ ；至少1项技术在前沿领域达到国际先进水平；在纳米光针直写装备、晶圆超精密检测装备等的亚纳米级分辨力运动平台上开展技术验证。

关键词：复合材料，有序调控，跨尺度共体传感器

### 1.9 晶圆级碳化硅微纳加工工艺及传感器研制(基础研究类)

研究内容：碳化硅材料具有耐高温、抗辐射等优点，但目前存在碳化硅微纳结构加工难度大、工艺规范缺失等问题。研究碳化硅基欧姆接触高温演化机理与可靠制备方法；研究碳化硅微结构刻蚀、晶圆级图形化直接键合、精密减薄抛光、高均匀精确掺杂和耐高温引线制备等微纳加工工艺；研究碳化硅传感器及其耐高温封装方法。

考核指标：建立碳化硅传感器微纳加工工艺规范；碳化硅刻蚀均匀性优于5%，晶圆尺寸 $\geq 4$ 寸，刻蚀深度 $\geq 100\mu\text{m}$ ，刻蚀速率 $\geq 0.4\mu\text{m}/\text{min}$ ，侧壁垂直度 $90^\circ\pm 5^\circ$ ，结构特征线宽加工误差优于 $\pm 1\mu\text{m}$ ，最小特征线宽 $\leq 3\mu\text{m}$ ；敏感结构厚度 $\leq 30\mu\text{m}$ ；晶圆键合拉伸强度优于15MPa；引线电极的比接触电阻优于 $5\times 10^{-5}\Omega\cdot\text{cm}^2$ ；研制出至少2种碳化硅传感器，最高工作温度可达 $600^\circ\text{C}$ ，高温工作时间 $\geq 1000$

小时@600°C；至少 1 项技术在前沿领域达到国际先进水平；在燃气轮机或航空发动机等工业动力机械装备上开展技术验证。

关键词：碳化硅，微加工工艺，高温传感器

### **1.10 微纳传感器激光加工新工艺研究（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：发挥激光在微纳传感器加工中的作用机理丰富、调控方式灵活以及兼顾高精度与低成本等技术优势，构建基于微尺度超快光场精准调控的新型工艺模型，探索稳定实现无损或低损微纳结构的高分辨图案激光加工机理，研究敏感材料改性、复杂传感结构制备等激光加工工艺技术，研制高性能微纳传感器。

考核指标：建立微尺度超快光场原位精准调控方法，以及微纳传感器激光制备新方法。以超高时间精度保证加工光场图案精度优于 1 $\mu\text{m}$ ，传感器的单元结构精度优于 200nm，在典型应用领域开展技术验证。

有关说明：支持不超过 3 项。

关键词：高端制造装备，超快激光，加工工艺，微纳传感器

### **1.11 超低功耗微纳传感器敏感元件技术研究（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：超低功耗微纳传感器是长期服役无线传感网络 and 智能装备的关键核心部件，是智能传感技术发展的主要方向之一。研究高性能微纳结构及其力、电、光、磁等传感特性，从传感器机理、敏感材料、敏感结构、微纳加工工艺等方面进行创新突破，

研制新型超低功耗微纳传感器敏感元件。

考核指标：建立超低功耗微纳传感器敏感元件的感知模型；在敏感元件性能指标满足应用需求的前提下，功耗至少降低 1 个数量级，为 nW 量级。

有关说明：支持不超过 3 项。

关键词：超低功耗，微纳结构，传感器敏感元件

## 2 传感器敏感元件关键技术

### 2.1 汽车安全气囊系统双轴加速度敏感元件及传感器（共性关键技术类）

研究内容：针对目前汽车安全气囊系统对高可靠、大量程双轴加速度传感器的需求，研究大量程加速度敏感元件双轴耦合机制及抗冲击结构设计方法；研究传感器可靠制造、封装及传感信号高精度处理关键技术；研究复杂车况下加速度传感器长期可靠性影响机制及加速试验技术；研制高可靠、大量程双轴加速度敏感元件及传感器，在汽车碰撞安全系统等领域应用验证。

考核指标：双轴加速度传感器量程 $\pm 480g$ ，测量精度优于 5%FS，抗冲击性能 $\geq 5000g$ ，交叉轴灵敏度 $\leq \pm 2\%$ ，带宽 $\geq 6000Hz$ （ $\pm 5\%$ ），延迟 $\leq 1ms$ ，噪声 $\leq 800\mu g/Hz^{1/2}$ ；接口模式为 SafeSPI/PSI5；通过 Grade1 车规级测试，并获得 ASIL-D 等级功能安全认证；项目结题时，传感器应用数量 $\geq 5000$ 只。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：双轴加速度，碰撞传感器，汽车安全气囊系统

## 2.2 高静压下差压测量敏感元件及多参数检测传感器（共性关键技术类）

研究内容：针对目前石油、化工、电力等流程工业国产差压变送器在高静压下误差大以及静压和差压集成测量局限的问题，研究高静压下差压信号偏移抑制技术；研究高静压下差压敏感元件耐压设计技术，研究静压、差压敏感元件集成封装技术；研究静压、差压敏感元件集成封装下的传感器静压偏差控制技术；研制静压、差压敏感元件集成传感器，在流程工业控制领域应用验证。

考核指标：差压测量敏感元件量程 100kPa，满量程输出优于 150mV@5V，破裂压力  $\geq 5$  倍量程，线性度优于 0.2%FS；静压、差压敏感元件集成传感器的工作温度范围 -40°C~85°C，差压测量范围 -100kPa~100kPa，静压测量范围 0~50MPa，差压测量精度优于 0.25%FS，静压测量精度优于 0.2%FS，静压误差 0.04%FS/10MPa；项目结题时，传感器应用数量  $\geq 5$  万只；制定国家、行业或团体标准不少于 1 项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：高静压差压测量，集成测量，静压误差，工业控制

## 2.3 高温高频响硅基压力敏感元件及传感器（共性关键技术类）

研究内容：针对航空航天中点火、熄火，爆破等领域中对高温瞬变压力测量的需求，研究高温高频响硅基压力敏感元件结构设计、制备工艺以及温度稳定性提升方法；研究敏感元件的低应力高频响封装方法；研究高温高频响压力传感器高精度补偿与校

准技术；研制高温高频响硅基压力敏感元件及传感器，在航空航天、流程工业等领域应用验证。

考核指标：高温高频响硅基压力敏感元件满量程输出 $\geq 80\text{mV}@10\text{V}$ ；传感器测量介质温度范围 $-50^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，压力量程 $0\sim 21\text{MPa}$ ，非线性优于 $0.25\%\text{FS}$ ，精度优于 $0.5\%\text{FS}$ ，固有频率 $\geq 1\text{MHz}$ ，热零点漂移优于 $\pm 0.08\%\text{FS}/^{\circ}\text{C}$ ，抗过载能力 $\geq 2$ 倍量程上限；项目结题时，传感器应用数量 $\geq 3000$ 只；制定国家、行业或团体标准不少于1项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：高温压力，高频响，硅基敏感元件，低应力

#### **2.4 浸入式微型液体压力敏感元件及传感器（共性关键技术类）**

研究内容：针对飞机液压系统、新能源汽车热管理系统对浸入式微型液体压力敏感元件及传感器的迫切需求，研究可直接接触液体的压力敏感元件结构及工艺设计技术；研究压力敏感元件多种液体防护技术，研究浸入式液体压力传感器无引线封装技术；研制浸入式微型液体压力敏感元件及传感器，在飞机、新能源汽车等领域应用验证。

考核指标：微型压力敏感元件体积 $\leq 2\text{mm}^3$ ，综合精度 $\leq 0.3\%\text{FS}$ ，量程为 $1.5\text{MPa}$ 、 $3.5\text{MPa}$ ，稳定性优于 $0.2\%\text{FS}/\text{年}$ ；寿命 $\geq 1000\text{h}@150^{\circ}\text{C}$ ；航空用微型压力传感器体积 $\leq \Phi 14\text{mm}\times 29\text{mm}$ ，响应频率 $\geq 5\text{kHz}$ ，工作温度范围 $-55^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，量程 $1.5\text{MPa}$ ；新能源汽车压力传感器体积 $\leq \Phi 26\text{mm}\times 45\text{mm}$ ，工作温度范围

-40°C~135°C，压力量程 3.5MPa；项目结题时，传感器应用数量  $\geq 10$  万只；制定国家、行业或团体标准不少于 1 项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：液体环境，压力，微型敏感元件，高频响应

### **2.5 微量程流量敏感元件及传感器（共性关键技术类）**

研究内容：针对现有微量程流量敏感元件精度低、压损高、工况适应性差等问题，研究敏感元件微流量传感信号增强与降噪技术；研究敏感元件流道低压损优化设计方法；研究复杂工况流量敏感元件信号漂移补偿与校准技术；研制微量程流量敏感元件及传感器，在氢能源汽车电堆气密性检测仪等领域应用验证。

考核指标：传感器量程 0~0.2sccm，压力范围 0~0.3MPa，压力损失  $\leq 1$ kPa，压力漂移优于  $\pm 0.1\%FS/100$ kPa，温度漂移优于  $\pm 0.01\%FS/^\circ C$ ，流量测量误差  $\pm 0.1\%FS$ ，防护等级不低于 IP67；项目结题时，传感器应用数量  $\geq 2000$  只；制定国家、行业或团体标准不少于 1 项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：微量程，流量传感器，压力损失

### **2.6 绝对式位移精密测量敏感元件及传感器（共性关键技术类）**

研究内容：针对目前高端装备领域对高精度、高分辨力、高动态响应的绝对式位移测量迫切需求，研究复杂工况下的高精度绝对式位移检测方法；研究高动态响应的绝对编码、解码技术；研究敏感元件结构成形和传感器制造关键技术；研制传感器信号处理专用

集成电路及芯片；研制高速、高精度绝对式直线位移和角位移传感器，在高档数控机床、集成电路装备、特种装备等领域应用验证。

考核指标：绝对式精密直线位移传感器量程 1000mm，分辨力达到 1nm，测量精度优于 2.5 $\mu$ m，最大运动速度达到 180m/min；绝对式精密角位移传感器分辨力达到 29bit，测量精度优于 1"，最大运动速度达到 800r/min；项目结题时，传感器应用数量  $\geq$  5000 只；制定国家、行业或团体标准不少于 1 项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：高精度，绝对式位移传感器

## **2.7 宽温区 MEMS 光纤多物理量敏感元件及传感器(共性关键技术类)**

研究内容：针对核电机组、轨道列车、大型船舶等重大装备领域对宽温区、高精度多参量集成测量传感器的需求，研究微型化 MEMS 光纤多物理量敏感元件设计制造技术和传感器封装工艺；研究温度、压力、加速度等多参量敏感信号高精度动态解耦方法和测量技术；研究传感器宽温区温度补偿技术；研制温度—压力、温度—振动、温度—压力—振动等多类型光纤多参量检测集成传感器，在核电机组压力变送器、地铁和高铁列车智能受电弓、大型船舶等装备应用验证。

考核指标：传感器封装外形尺寸  $\leq \Phi 10\text{mm} \times 15\text{mm}$ ；测温误差  $\leq 0.5^\circ\text{C}@ (-200^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C})$ ；加速度量程达到 200g，分辨力达到 1mg，线性度  $\leq 0.5\%@ (-10^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C})$ ，频响范围 0.1Hz~5000Hz；绝压压力

量程 1kPa~3MPa, 精度优于 0.005%FS@(-10°C~60°C); 项目结题时, 传感器应用数量 $\geq 2000$  只; 制定国家、行业或团体标准不少于 1 项。

有关说明: 由企业牵头申报。

关键词: 宽温区, 高精度, MEMS 光纤多参量传感器

## **2.8 非接触温度场敏感元件及智能传感器(共性关键技术类)**

研究内容: 针对现有非接触温度传感器对辐射能量场的温度测量精度低、感知分辨率小、感知距离短等难题, 研究远距离非接触温度场高分辨测量技术; 研究温度场敏感元件与调理电路的单片集成设计与制造工艺; 研制高精度非接触温度场敏感元件与智能传感器, 在输运管道、发电设备、船舶制造等领域大型结构件、承压件焊接等场景应用验证。

考核指标: 敏感元件面积 $\leq 16\text{mm}^2$ , 温度场分辨率 $\geq 8\times 8$ , 功耗 $\leq 50\text{mW}$ ; 检测温度范围 $-50^\circ\text{C}\sim 500^\circ\text{C}$ , 测温距离 $\geq 1\text{m}$ ; 电磁干扰强度 $10\text{V/m}@ (80\text{MHz}\sim 1\text{GHz})$ 以内, 传感器测温精度优于 2%; 项目结题时, 传感器应用数量 $\geq 5000$  只; 制定国家、行业或团体标准不少于 1 项。

有关说明: 由企业牵头申报。

关键词: 焊接预热, 高精度温度场检测, 非接触温度场测量, CMOS-MEMS

## **2.9 高精度高分辨光场图像敏感元件及智能传感器(共性关键技术类)**

研究内容: 针对现有光场图像传感器三维感知精度低、分辨

率低、感知距离有限等难题，研究大景深下具有高时空带宽积、近衍射极限分辨能力的光场分布式感知与自组织融合技术；研究光场图像敏感元件结构设计、集成封装工艺；研制高精度高分辨光场图像敏感元件及智能传感器，在智慧工业、自动驾驶等领域应用验证。

考核指标：传感器三维空间分辨率  $\geq 1000$  万像素/帧，帧频  $\geq 10$  帧/秒；深度感知范围  $\geq 1\text{m}@2\text{m}$ 、 $\geq 10\text{m}@100\text{m}$ ，深度感知精度优于  $1\text{mm}@2\text{m}$ 、 $1\text{m}@100\text{m}$ ；项目结题时，传感器应用数量  $\geq 100$  套；制定国家、行业或团体标准不少于 1 项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：光场图像传感器，高分辨率，高精度三维感知

### **2.10 4D 成像毫米波雷达传感器（共性关键技术类）**

研究内容：针对现有车载毫米波雷达水平角度分辨力低、目标俯仰向高度信息置信度低、目标识别能力较差等问题，研究多收发虚拟通道阵列雷达技术；研究多射频芯片级联设计集成与测试校准技术；研究毫米波多收发虚拟通道波形编码技术；研制 4D 成像毫米波雷达传感器，在智能驾驶车辆和智慧交通领域应用验证。

考核指标：形成对目标距离、速度、水平方位和俯仰的 4D 信息探测与准确成像，4D 成像毫米波雷达传感器最大输出点云数量  $\geq 5$  万/秒，最大可跟踪目标数量  $\geq 512$  个；探测距离  $\geq 350\text{m}$ ，距离分辨力  $\leq 0.12\text{m}$ ，距离测量精度  $\leq 0.05\text{m}$ ；速度测量范围  $-120\text{m/s}\sim 60\text{m/s}$ ，测量精度  $\leq 0.03\text{m/s}$ ；水平视场角测量范围  $\geq 150^\circ$ ，

分辨力 $\leq 0.7^\circ$ ，测量精度 $\leq 0.07^\circ$ ；俯仰视场角测量范围 $\geq 30^\circ$ ，分辨力 $\leq 1.0^\circ$ ，测量精度 $\leq 0.08^\circ$ ；项目结题时，传感器应用数量 $\geq 1000$ 套；制定国家、行业或团体标准不少于1项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：4D 成像毫米波，波形编码，多发多收

## 2.11 宽温域高精度量子电流敏感元件及传感器（共性关键技术类）

研究内容：针对超/特高压交、直流电网系统中对大量程、高精度、低温漂的高可靠性电流传感器的迫切需求，研究基于量子效应的电流强度精密测量方法，研究非侵入式量子系综电流传感器结构设计技术；研究光机电一体化量子电流传感器核心共性技术与成套加工工艺；研究温度自补偿、超宽量程、量子解调电路噪声抑制等关键技术，开发闭环调理集成电路；研究集成化电流传感器及高可靠封装技术，在特高压直流电网领域应用验证。

考核指标：量子电流传感器量程上限达到30kA，精度优于0.05%FS，带宽DC~10kHz；在 $-40^\circ\text{C}$ 至 $85^\circ\text{C}$ 范围内，温漂 $\leq \pm 0.1\%$ ；敏感元件尺寸 $\leq 1\text{cm}^3$ ；联网正常工作时间 $\geq 5000$ 小时，精度衰减 $\leq 5\%$ ；耐受电流50kA@1s，耐受电压 $\pm 1224\text{kV}@1\text{h}$ ；防护等级达到IP67，电磁兼容等级 $\geq 5$ 级；项目结题时，传感器应用数量 $\geq 200$ 套。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：电流传感器，量子传感，智能电网

## 2.12 快响应自给能中子敏感元件及复合传感器(共性关键技术类)

研究内容: 针对高温、高压、高辐照环境下中子传感器寿命短、响应慢等问题, 研究自给能中子敏感材料与元件的性能优化方法; 研究微型敏感元件一体化制备技术及验证方法; 研究中子、温度敏感元件的批量制造技术; 研究复杂电磁环境下微弱信号长距离传输、高精度检测技术; 研究小尺寸长金属管空间内多敏感元件高精密集成装配技术; 研制快响应自给能中子敏感元件及复合传感器, 在核电厂堆芯运行参量测量领域应用验证。

考核指标: 中子通量测量范围  $1 \times 10^{10} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \sim 5 \times 10^{14} \text{n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 中子测量灵敏度  $\geq 5 \times 10^{-21} \text{A/n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 响应时间  $\leq 100 \text{ms}$ ; 温度测量范围  $0^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ , 测量精度达到一级精度 (GB/T16839.1-2018), 响应时间  $\leq 15 \text{s}$ ; 传感器实现不少于 6 个中子敏感元件及 3 个温度敏感元件复合集成, 工作寿命  $\geq 10$  年, 耐辐照剂量  $\geq 1 \text{MGy}$ , 最高工作压力  $\geq 18.5 \text{MPa}@360^{\circ}\text{C}$ , 绝缘电阻  $\geq 10^8 \Omega \cdot \text{m}@330^{\circ}\text{C}$ ; 项目结题时, 传感器应用数量  $\geq 50$  套; 制定国家、行业或团体标准不少于 1 项。

有关说明: 由企业牵头申报。

关键词: 中子敏感, 自给能, 集成装配

## 2.13 界面稳定电化学气体敏感元件及智能传感器(共性关键技术类)

研究内容: 针对电化学传感器体积大、寿命短、稳定性差等

问题，研究界面稳定电化学气体敏感元件设计及电极纳米材料宏量制备技术；研究小型化空间内具有高效三相界面、高稳定高过载气体扩散电极制备技术；研究屏蔽湿度交换的传质过程稳定化实现技术；研究传感器线性校准与智能故障诊断方法；研究电化学气体传感器批量制造技术，研制 Cl<sub>2</sub>、甲醛、SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、CO 和 O<sub>2</sub> 等传感器，在工业、环境监测等领域应用验证。

考核指标：敏感元件尺寸 ≤ 4cm<sup>3</sup>；传感器工作温度范围：-40°C~55°C，湿度范围：RH10%~RH95%；传感器灵敏度衰减 ≤ 5%/年，传感器寿命 ≥ 5 年；Cl<sub>2</sub>、甲醛、SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、CO 检测下限 ≤ 10ppb，测量偏差 ≤ 5%FS；O<sub>2</sub> 检测分辨率 ≤ 0.01%vol；项目结题时，传感器应用数量 ≥ 20000 只；制定国家、行业或团体标准不少于 1 项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：电化学、气体扩散电极、气体敏感元件

#### **2.14 超快响应湿度敏感元件及传感器（共性关键技术类）**

研究内容：针对目前湿度传感器响应时间长，无法满足油气勘探、工业安全监控等动态环境湿度快速测量的需求问题，研究超快响应、高灵敏、低湿滞的湿敏功能材料设计制备技术；研究敏感元件设计与规模化制造工艺；研究超快湿敏信号检测方法和低功耗信号调理电路；研究传感器温度补偿算法和自校正技术；研制超快响应湿度敏感元件及传感器，在油气勘探、工业监控等领域应用验证。

考核指标：传感器湿度测量范围 0%RH~100%RH，响应时间  $\leq 2\text{ms}$ （环境温度），精度优于 1.8%RH，分辨率优于 0.1%RH，湿滞优于  $\pm 0.8\%RH$ ，工作温度范围  $5^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，湿敏元件尺寸  $\leq 8\text{mm}^3$ ；项目结题时，传感器应用数量  $\geq 2000$  只；制定国家、行业或团体标准不少于 1 项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：超快响应，湿度传感器，动态环境

### **2.15 疾病标志物单分子免疫敏感元件及分析仪器（共性关键技术类）**

研究内容：针对传统生物传感器在癌症、阿尔兹海默症等重大疾病早期诊断时存在灵敏度低、特异性差等问题，研究蛋白质、细胞因子等疾病标志物检测技术，研究单分子多重编码免疫敏感元件设计和制备方法；研究微孔阵列芯片设计及加工工艺；研究多重编码宽视野图像检测技术和高信噪比分辨技术；研制多重编码的单分子免疫敏感元件、微孔阵列芯片及分析仪器，在重大疾病早期诊断开展应用验证。

考核指标：敏感元件直径  $\leq 4\mu\text{m}$ ，敏感元件种类  $\geq 3$  种，每种敏感元件可同时检测标志物种类  $\geq 5$  种，相同敏感元件的检测一致性优于 10%，灵敏度达到  $\text{fg/mL}$ ，检测偏差  $\leq 10\% @ 100\text{fg/mL}$ ；微孔阵列芯片面积  $\geq 3\text{mm}\times 4\text{mm}$ ，微孔阵列单元数  $\geq 20$  万个；积累临床病例超过 100 例；项目结题时，芯片应用数量  $\geq 5000$  套，分析仪应用数量  $\geq 50$  套；获批医疗器械注册证 1 项，制定国家、

行业或团体标准不少于 1 项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：痕量疾病标志物，多重编码，单分子免疫

## **2.16 生物分子超高通量筛查微阵列芯片及快速检测传感器 (共性关键技术类)**

研究内容：针对现有生物传感器用于疾病标志物筛查时存在的单片检测指标少、通量低、速度慢、检测限偏高等问题，研究生物分子条形码微阵列芯片的设计技术与制备方法；研究高通量疾病标志物检测和细胞功能评估技术；研制超高通量生物分子条形码微阵列芯片及快速检测传感器，在体外诊断和细胞治疗等领域应用验证。

考核指标：蛋白质条形码微阵列芯片单片可同时检测蛋白质标志物种类  $\geq 10$  种，检测限  $\leq 10\text{pM}$ ，检测浓度偏差  $\leq 20\% @ 100\text{pM}$ ；核酸条形码微阵列芯片单片可同时检测核酸标志物种类  $\geq 10$  种，检测限  $\leq 10\text{fM}$ ，全流程检测时间  $\leq 50\text{min}$ ；检测通量水平达到：细胞功能评估条形码微阵列芯片单片检测参数数目  $\geq 10$  万个，检测传感器对蛋白质的检测速度  $\geq 1000$  指标/小时；项目结题时，生物分子条形码微阵列芯片应用数量  $\geq 2$  万只，检测传感器应用数量  $\geq 10$  套，累计临床验证病例  $\geq 1000$  例；申请医疗器械注册证不少于 2 项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：生物芯片，微阵列，疾病标志物，核酸，单细胞功

能评估

## **2.17 MEMS 敏感元件设计与产品开发（共性关键技术类，科技型中小企业项目）**

研究内容：针对国内多数传感器中小型企业不具备专用 MEMS 工艺产线，严重制约我国传感器技术与产业发展的问题，支持国内传感器企业发挥敏感元件设计优势，创新设计应力、位置、振动、气敏、缺陷等类型的 MEMS 传感器敏感元件，利用本专项前期支持的传感器研发支撑平台（8 英寸 MEMS 传感器加工中试平台、MEMS 传感器批量制造平台、MEMS 传感器先进封装测试平台等），进行产品开发并在新能源、双碳、工业安全等领域应用验证。

考核指标：项目申报时选定 1 类敏感元件，参考本方向其他指南的考核要求，明确申报项目的技术指标。

有关说明：科技型中小企业牵头申报，每个项目参与单位不超过 2 家。支持不超过 5 项。项目芯片制造与封装测试环节应充分利用本专项前期支持的传感器研发支撑平台条件。

关键词：MEMS 传感器设计，中小企业，制造业

### **3 谱系化智能传感器及系统应用**

#### **3.1 大型模锻压机运行状态监测传感器及系统应用（应用示范类）**

研究内容：针对国内大型模锻压机运行状态多参数监测对高可靠工业传感器的迫切需求，研究压力、位移、振动、粘度敏感

元件及传感器的可靠性优化设计和高稳定制备等关键技术；研究传感器抗振动冲击、电磁干扰等高可靠封装集成技术，研制主缸压力、伺服阀位移、主泵电机振动、滑油粘度等系列传感器；研究多参数信号同步采集和多源传感数据融合处理技术，研制装备运行状态远程监测软硬件平台；在航空、航天、能源等领域基础零部件锻压生产线应用示范。

考核指标：振动传感器量程 60g，频率范围 0.5Hz~10kHz，测量精度优于 5%FS，抗冲击 5000g，零偏稳定性  $\leq 20\mu\text{g}$ ，全温零偏稳定性  $\leq 300\mu\text{g}$ ；主缸压力传感器测量范围 0~100MPa，精度优于 0.06%FS，工作温度 -50°C~125°C，稳定性  $\leq 0.06\%FS/\text{年}$ ，压力脉冲疲劳试验  $\geq 30$  万次；伺服阀位移传感器测量范围 0~25mm，非线性  $\leq 0.1\%FS$ ，稳定性  $\leq 0.1\%FS/\text{年}$ ，抗机械冲击 100g，抗线性振动 50g，正反行程工作次数  $\geq 30$  万次；粘度传感器测量范围 5mm<sup>2</sup>/s~600mm<sup>2</sup>/s，测量误差  $\leq \pm 5\%$ ，抗机械冲击 40g；装备运行状态异常预警准确率优于 95%；传感器平均无故障工作时间  $\geq 8000$  小时，推广应用数量  $\geq 3000$  只，制定国家、行业或团体标准不少于 2 项。

有关说明：技术指标考核优先采用第三方测试方式进行，考核以国家/行业标准为依据；确无测试标准依据的指标，需依据同行专家和用户评审后的测试大纲，开展监督测试，测试结论需通过用户认可。

关键词：模锻压机，状态监测，振动，压力，位移，粘度

### 3.2 纱线生产关键工序质量在线检测传感器及系统应用（应用示范类，定向择优）

研究内容: 针对高品质纱线生产关键工序质量监控系统对高精度、高稳定性在线检测传感器的迫切需求, 研究面阵图像传感器小体积集成关键技术, 微小快速移动落杂和纤维的高分辨传感技术, 凹凸罗拉直线位移抗振动精密传感技术, 高速移动纱线的边缘轮廓快速传感技术和线密度抗电磁干扰高分辨传感技术; 基于国产传感器敏感元件, 研制棉结检测面阵图像传感器, 纤维落杂检测光电传感器, 凹凸罗拉直线位移检测传感器, 纱疵检测光电和电容一体化传感器; 研究基于传感器数据的纱线质量快速评价算法, 研制生产过程大数据平台和高实时闭环控制系统; 在棉、毛、麻、丝、化纤短纤维纯纺或混纺等纺纱生产典型场景应用示范。

考核指标: 面阵图像传感器检测棉结视场范围  $40\text{mm}\times 40\text{mm}$ , 曝光时间  $\leq 1\text{ms}$ , 曝光频率  $\geq 50\text{Hz}$ , 外形尺寸小于  $30\text{mm}\times 30\text{mm}\times 20\text{mm}$ , 可测量棉结直径  $0.2\text{mm}\sim 1\text{mm}$ ; 纤维落杂检测光电传感器分辨力  $\leq 0.5\text{mm}$ @落杂移动速度  $30\text{m/s}$ , 检测频率  $\geq 20\text{Hz}$ ; 凹凸罗拉直线位移传感器测量范围  $0\sim 10\text{mm}$ , 非线性  $\leq 0.2\%\text{FS}$ , 分辨率优于  $0.1\%$ ; 纱疵检测传感器测量纱线轮廓边缘分辨力  $\leq 0.05\text{mm}$ @纱线移动速度  $25\text{m/s}$ , 线密度测量分辨率  $\leq 1\%$ 、零点温漂  $\leq 0.1\text{mV}/^\circ\text{C}$ ; 纱线质量评价算法响应速度满足不同原材料高速高产纺纱需求, 开发传感器网络, 网络抖动  $\leq 1\mu\text{s}$ , 控制周期  $\leq 100\text{ms}$ ; 棉结识别准确率  $\geq 90\%$ , 落杂检出率  $\geq 90\%$ , 纱疵检出率不低于  $95\%$ , 5

米重不匀 $\leq 0.2\%$ 、1米重不匀 $\leq 0.5\%$ 。传感器平均无故障工作时间 $\geq 4000$ 小时，零点漂移 $\leq \pm 1\text{mV}@6$ 个月，应用数量 $\geq 3000$ 只，适用原材料种类 $\geq 3$ 种，应用企业数量不少于20家，重点纯棉、化纤等优等纱线产线核心传感器可实现国产化替代，制定国家、行业或团体标准不少于2项。

有关说明：由中国纺织工业联合会组织推荐。由企业牵头申报，配套经费与国拨经费比例不低于3:1。技术指标考核优先采用第三方测试方式进行，考核以国家/行业标准为依据；确无测试标准依据的指标，需依据同行专家和用户评审后的测试大纲，开展监督测试，测试结论需通过用户认可。

关键词：纱线，在线检测，面阵图像传感器，光电传感器，直线位移检测传感器，光电和电容一体化传感器

### 3.3 储粮品质高精度检测传感器及国家储备粮库应用（应用示范类，定向择优）

研究内容：针对我国粮食储存存在霉变风险预警难等问题，研究粮堆内分布式温湿度传感器长期稳定性提升技术，粮食含水率非接触敏感元件小型化技术；研究气调库 $\text{O}_2$ 和 $\text{PH}_3$ 片上集成高分辨传感技术；研究粮食霉变 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CO}$ 高精密度痕量检测传感技术；研制粮食品质高精度检测系列传感器，研究基于传感器数据的粮食品质监测、预警和控制技术，开发粮食储藏过程品质安全智能监测系统；在中央和省级储备粮库进行集成应用示范。

考核指标：形成粮食品质检测及粮库安全监测相关标准不

少于 2 项。温湿度传感器响应时间  $\leq 0.1s$ ，温度测量误差  $\pm 0.1^{\circ}C$ 、漂移  $\leq 0.1^{\circ}C/天$ ，湿度测量误差  $\pm 0.1\%RH$ 、漂移  $\leq 0.2\%RH/天$ ；含水率传感器敏感元件尺寸  $\leq \Phi 5cm \times 20cm$ ，测量范围  $0.01\% \sim 30\%$ ，测量误差  $\pm 0.5\%$ ；片上集成气体传感器功耗小于  $2W$ ，对  $O_2$  检测下限  $100ppm$ 、测量范围  $100ppm \sim 10^6ppm$ 、响应时间  $\leq 1min$ ，对  $PH_3$  检测下限  $0.1ppm$ 、测量范围  $0 \sim 20ppm$ 、响应时间  $\leq 1min$ ； $CO_2$  气体传感器测量精度  $\leq 0.1ppm@$  ( $300ppm \sim 500ppm$ )，检测下限  $\leq 300ppm$ ，响应时间  $\leq 2min$ ； $CO$  气体传感器测量精度  $\leq 15ppb@$  ( $80ppb \sim 400ppb$ )，检测下限  $\leq 80ppb$ ，响应时间  $\leq 2min$ ；传感器平均无故障工作时间  $\geq 3000$  小时；粮库智能监测系统具备传感器数据三维可视化、粮食品质数据追溯、粮食霉变预警、自动气调控制等功能，监测响应时间  $\leq 0.1s$ 。在全国范围内储存条件各异的不少于 15 家省级以上储备粮库进行应用示范，粮食种类为小麦、玉米、稻谷等；传感器应用数量  $\geq 500$  只。

有关说明：由农业农村部、国家粮食和物资储备局组织推荐。由企业牵头申报，配套经费与国拨经费比例不低于 3:1。技术指标考核优先采用第三方测试方式进行，考核以国家/行业标准为依据；确无测试标准依据的指标，需依据同行专家和用户评审后的测试大纲，开展监督测试，测试结论需通过用户认可。

关键词：粮食质量，温湿度传感，含水率传感，片上集成气体传感，痕量气体传感

### 3.4 煤炭采掘过程监测传感器及采煤作业安全预警应用（应用示范类）

研究内容：针对井下采掘装备运行环境安全监测对抗干扰、高可靠、本质安全型传感器及智能化控制的迫切需求，研究煤岩构造信息高精度分辨和煤岩界面形状等信号反演技术；研究微风传感的高效致热部件与检测部件一体化关键技术；研究低照度下瓦斯积聚成像特征增强与尘雾背景去噪技术；研究敏感元件及传感器高稳定批量制造技术，研制煤岩分界检测电磁成像传感器、开采工作面微风速传感器和瓦斯积聚成像传感器；研究传感器本质安全防爆、抗强电磁干扰、多传感器协同组网和作业安全预警等应用关键技术，在薄煤层、中厚煤层、大采高煤层等典型矿井应用示范。

考核指标：煤岩分界检测电磁传感器测量范围 100mm~1000mm，测量误差 $\pm 50\text{mm}$ ，零点漂移 $\leq \pm 20\text{mm}@3$  个月，可分辨煤中岩石最小特征尺寸 50mm，防护等级达到 IP68，抗冲击 $\geq 4\text{g}$ ；微风速传感器测量范围 0.02m/s~5m/s，测量误差 $\pm 0.01\text{m/s}@$ 风速 0.5m/s，零点漂移 $\leq \pm 0.01\text{m/s}@3$  个月；瓦斯积聚成像传感器测量范围 0~10%L/L·m，测量误差 $\leq 0.1\%L/L\cdot\text{m}@1\%L/L\cdot\text{m}$ ，零点漂移 $\leq \pm 0.1\%L/L\cdot\text{m}@3$  个月，可视化监测半径可达 10m。按国际 IEC 60079 系列标准，通过国际 IECEx 防爆实验室检验合格。传感器通过本质安全防爆认证，平均无故障工作时间 $\geq 5000$  小时，抗空间电磁辐射能力 4 级。应用煤矿数不少于 3 个，作业安全预警能力满足应用场景需求，工作面连续一周生产割煤过程中，采煤机

调整干预时间降低到 5%以内；成套开采装备集成国产传感器数量  $\geq 1000$  只，其中本项目研制的传感器  $\geq 50$  只；传感器面向不同场景应用数量  $\geq 20000$  只，其中本项目研制的传感器  $\geq 2000$  只；制定国家、行业或团体标准不少于 3 项。

有关说明：技术指标考核优先采用第三方测试方式进行，考核以国家/行业标准为依据；确无测试标准依据的指标，需依据同行专家和用户评审后的测试大纲，开展监督测试，测试结论需通过用户认可。

关键词：采掘装备，煤岩分界检测电磁成像传感器，微风速传感器，瓦斯积聚成像传感器

### **3.5 列车前向运行环境监测传感器及系统应用(应用示范类)**

研究内容：针对列车运行过程中前向环境远距离、全天候动态监测需求，研制车载前向环境传感监测系统。研究片上激光雷达技术，研制远距离激光雷达传感器；研究全彩视觉增强技术，研制低照度全彩图像传感器；研究激光选通成像技术，研制雨雪雾天气下激光门控图像传感器；研究列车前向运行环境集成融合感知方法，研究全天候运行环境动态监测技术；研究列车前向运行环境安全自主防护决策技术，开发列车前向环境感知监测与安全自主防护报警系统，在地铁列车、有轨电车、货运列车等进行示范应用。

考核指标：实现列车运行动态环境下应用，激光雷达传感器探测距离  $\geq 500\text{m}$ ，分辨率  $\leq 0.05^\circ$ ，距离测量精度  $\leq 3\text{cm}$ ，平均无故障工作时间  $\geq 5$  万小时；全彩图像传感器照度  $\leq 0.0005\text{lux}$ ，动

态范围  $\geq 120\text{dB}$ ，平均无故障工作时间  $\geq 100$  万小时；激光门控图像传感器在雨雪雾天气下（能见度  $\leq 300\text{m}$ ）探测距离  $\geq 500\text{m}$ ，成像像素数  $\geq 100$  万，平均无故障工作时间  $\geq 0.5$  万小时；典型轨道交通场景下列车前向运行环境感知距离  $\geq 400\text{m}$ ，前向列车、异物等检测精度  $\geq 99.99\%$ ；传感器实现在地铁列车、有轨电车、货运列车等的装车应用，应用示范里程  $\geq 100000\text{km}$ ；传感器应用数量  $\geq 3000$  只，制定国家、行业或团体标准不少于 1 项。

有关说明：技术指标考核优先采用第三方测试方式进行，考核以国家/行业标准为依据；确无测试标准依据的指标，需依据同行专家和用户评审后的测试大纲，开展监督测试，测试结论需通过用户认可。

关键词：激光雷达传感器，低照度全彩图像传感器，激光门控图像传感器，全天候环境感知

#### **4 传感器研发支撑平台**

##### **4.1 多尺寸兼容的多材料体系 MEMS 研发平台(共性关键技术类)**

研究内容：针对高端量子、光子、超声、太赫兹等传感器研发制造急需的跨尺度多材料体系的器件微纳加工、集成及表征等共性技术需求，研究一维、二维以及柔性等非硅新型敏感材料加工工艺；研究新型光电、压电等功能薄膜材料增敏方法及其加工工艺；研究跨材料体系多芯片异质异构集成工艺；研究工艺相关微纳结构与材料性能测试方法；建立工艺稳定、兼容多尺寸多材

料体系的 MEMS 工艺研发平台,面向智能传感器研发单位提供工艺服务。

考核指标: 实现兼容 4/6/8 英寸的硅和非硅多材料体系工艺平台,在 4/6 英寸工艺平台建立  $\text{LiNbO}_3$ 、金刚石、碳纳米管、石墨烯、压电复合和功能高分子等新材料的晶圆级制备和微纳结构加工工艺能力,在不多于 2 个平台上实现;光刻特征线宽能力  $\leq 180\text{nm}$ ;  $\text{LiNbO}_3$  刻蚀深度  $\geq 1\mu\text{m}$ ; 薄膜 NV 色心浓度  $\geq 10\text{ppb}$ , 均匀性  $\leq \pm 10\%$ ; 碳纳米管场效应晶体管传感器性能不均匀性  $\leq 10\%$ ; 石墨烯面内结构图形化特征尺寸  $\leq 1\text{nm}$ ; 压电复合薄膜材料  $d_{33} \geq 50\text{pC/N}$ ; 功能高分子薄膜多轴应变拉伸  $\geq 100\%$ ; 晶圆级器件集成与封装漏率  $\leq 1 \times 10^{-11}\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ; 在 6/8 英寸工艺平台实现三维异质异构集成结构堆叠互连层数  $\geq 3$ ,集成器件阵列单元特征尺寸  $\leq 25\mu\text{m}$ ; 构建硅和非硅多材料体系工艺相关数据库; 形成相应 PDK 5 套以上; 制定工艺规范标准不少于 4 项; 项目执行期内服务客户 100 家次以上,其中服务本专项研制任务承担客户不少于 10 家。

关键词: MEMS, 多尺寸, 多材料, 研发平台

#### 4.2 8 英寸硅基压电薄膜及压电 MEMS 传感器制造工艺平台 (共性关键技术类)

研究内容: 针对压电 MEMS 智能传感器对量产工艺平台的迫切需求,研究基于硅晶圆上压电薄膜的压电 MEMS 批量制造共性技术; 研究关键工艺参数对压电薄膜力电特性影响规律; 研究压

电薄膜的材料属性与传感灵敏度的协同关系及其标准化片上测试方法；研制低应力、低缺陷、高压电系数的压电薄膜，建立 8 英寸硅基压电薄膜制备工艺量产平台，面向高性能压电 MEMS 传感器敏感元件开展技术验证和代工服务。

考核指标：形成晶圆级压电薄膜制备工艺规范以及标准化片上压电薄膜材料属性测试规范；可支持不少于三种压电薄膜材料的异质集成；硅晶圆上压电薄膜应力  $\leq 100\text{MPa}$ ，厚度  $\geq 1\mu\text{m}$ ，厚度均匀性  $\leq 0.5\%$ ，击穿电场  $\geq 1\text{MV/cm}$ ，压电电压系数  $g_{33} \geq 0.1\text{V}\cdot\text{m/N}$ ，压电薄膜 XRD 半峰全宽  $\leq 1.5^\circ$ ；实现压电微型超声换能器、压电麦克风等 2 种以上高性能压电 MEMS 传感器技术验证和代工服务，并形成成套工艺规范；超声换能器（谐振频率  $\geq 250\text{kHz}$ ）驱动振幅  $\geq 1.5\mu\text{m/V}$ ，接收灵敏度  $\geq 2\text{mV/Pa}$ ；压电麦克风接收灵敏度优于  $-35\text{dBV}$  ( $94\text{dBSPL}@1\text{kHz}$ )，封测信噪比  $\geq 65\text{dB}$ （计权噪音  $50\text{Hz}\sim 15\text{kHz}$ ），检测范围  $40\text{dB}\sim 120\text{dB}$ ；产能  $\geq 3000$  片/月；项目执行期内服务客户 50 家次以上。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：压电薄膜材料，晶圆级，MEMS 传感器

## **“智能传感器”重点专项 2023年度项目申报指南形式审查条件要求**

申报项目须符合以下形式审查条件要求。

### **1. 推荐程序和填写要求**

(1) 由指南规定的推荐单位在规定时间内出具推荐函。

(2) 申报单位同一项目须通过单个推荐单位申报，不得多头申报和重复申报。

(3) 项目申报书（包括预申报书和正式申报书，下同）内容与申报的指南方向相符。

(4) 项目申报书及附件按格式要求填写完整。

### **2. 申报人应具备的资格条件**

(1) 项目（课题）负责人应为1963年1月1日以后出生，具有高级职称或博士学位。

(2) 青年科学家项目负责人应具有高级职称或博士学位，男性应为38周岁以下（1985年1月1日以后出生），女性应为40周岁以下（1983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。

(3) 受聘于内地单位的外籍科学家及港、澳、台地区科学家可作为项目（课题）负责人，全职受聘人员须由内地聘用单位提供全职聘用的有效材料，非全职受聘人员须由双方单位同时提供

聘用的有效材料，并作为项目预申报材料一并提交。

(4) 参与重点专项实施方案或本年度项目指南编制的专家，原则上不能申报该重点专项项目（课题）。

(5) 诚信状况良好，无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。

(6) 中央和地方各级国家机关的公务人员（包括行使科技计划管理职能的其他人员）不得申报项目（课题）。

(7) 项目申报人员满足申报查重要求。

### **3. 申报单位应具备的资格条件**

(1) 在中国大陆境内登记注册的科研院所、高等学校和企业等法人单位。国家机关不得作为申报单位进行申报。

(2) 注册时间在 2022 年 6 月 30 日前。

(3) 诚信状况良好，无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。

### **4. 本重点专项指南规定的其他形式审查条件要求**

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。

**本专项形式审查责任人：张雷**

## 附件 4

# “工业软件”重点专项 2023 年度项目 申报指南及“揭榜挂帅”榜单

(仅国家科技管理信息系统注册用户登录可见)

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“工业软件”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2023 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：针对我国工业软件受制于人的重大问题以及制造强国建设的重大需求，系统布局产品生命周期核心软件、智能工厂技术与系统、产业协同技术与平台，贯通基础前沿、共性关键、平台系统及生态示范等环节。到 2025 年，引领现代制造业发展的新模式、新平台、新体系和新业态逐步形成，核心工业软件基本实现自主可控，基于工业互联网的工业软件平台及数字生态逐步形成，工业软件自主发展能力显著增强，推动制造业产业生态创新以及技术体系、生产模式、产业形态和价值链的重塑。

2023 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕工业软件及数字生态前沿技术、产品生命周期核心软件、智能工厂技术与系统、产业协同技术与平台、工业软件生态应用示范等 5 大任务，按照基础研究、共性关键技术和应用示范三个

层面，拟启动 30 个项目、拟安排国拨经费 4.45 亿元。其中，围绕工业软件及数字生态前沿技术、产品生命周期核心软件、智能工厂技术与系统、产业协同技术与平台，部署青年科学家项目，每个项目 200 万元。共性关键技术类项目的配套经费与国拨经费比例不低于 1.5:1。应用示范类项目要求由企业牵头申报，配套经费与国拨经费比例不低于 2.5:1。

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，每个项目拟支持数为 1 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数不超过 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。

青年科学家项目不要求对指南内容全覆盖，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 1985 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1983 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。

## **1 产品生命周期核心软件方向**

**1.1 泛在计算环境下产品协同设计 CAD 云架构技术(基础研究类，青年科学家项目)**

研究内容：针对三维 CAD 软件智能云化、建模仿真优化的

一体化发展趋势，以支持泛在计算环境下产品协同设计为目标，研究云端协同的三维 CAD 软件建模仿真优化一体化技术，研究三维 CAD 软件云架构设计/部署/运行支持技术，支持面向产品工业设计的大体量模型设计、高品质曲面建模、鲁棒实体建模和直接建模，研发泛在计算环境下产品协同设计的云架构三维 CAD 软件框架，并在国产三维 CAD 软件进行技术集成验证。

考核指标：突破支持手机、平板电脑等泛在计算环境下产品协同设计的三维 CAD 软件云架构关键技术，制定泛在计算环境下产品协同设计的三维 CAD 软件架构标准；研发形成泛在计算环境下产品协同设计的云架构三维 CAD 软件框架 1 套，支持 web 模式的移动端和 PC 端等多端环境，支持全流程在线协同设计，获得软件著作权  $\geq 1$  项。

关键词：泛在计算环境，协同设计，三维 CAD，云架构

## **1.2 工程薄壳精细化分析及优化构件（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：针对复杂工程薄壳结构精细化水平和轻量化水平不足的瓶颈问题，研究面向典型制造过程的工程薄壳承载高精度数值分析方法和特征识别算法，突破复杂薄壳大规模非线性分析与优化关键技术；研究考虑工艺可达的复杂薄壳结构超低体分比拓扑优化方法，构建基于各向异性过滤技术的薄壳加筋拓扑优化模型；开发多变量多约束的抗缺陷薄壳超大减重比优化构件；研究薄壳多点扰动协同加载高精度实验技术，完成原理性实验验证。

考核指标:突破工程薄壳精细化分析及优化算法/技术 $\geq 3$ 项,提供百万设计变量规模的优化能力,设计方案满足工艺可达要求;与薄壳传统后屈曲分析方法相比,单次非线性承载数值分析的计算效率提升 $\geq 50\%$ ;实现5%体分比下复杂异形曲面加筋变截面设计,设计方案满足工艺可达要求;完成米级薄壳样件的原理性实验验证,非线性承载数值分析结果与实验值的平均误差 $\leq 5\%$ 、最大误差 $\leq 8\%$ ;侧向多点扰动协同加载的位置数 $\geq 3$ ,加载工装位置误差 $\leq 0.5\%$ ;获得软件著作权 $\geq 1$ 项。

关键词:工程薄壳,制造特征,非线性承载分析,优化设计

### 1.3 产品全生命周期的工业知识软件化基础理论(基础研究类,青年科学家项目)

研究内容:针对智能技术与工业技术深度融合发展趋势,工业软件研发对工业知识获取与挖掘利用的迫切需求,研究工业机理与工业知识软件化表达的基础理论;探索产品全生命周期的工业知识体系表征与知识挖掘方法,研究工业软件领域建模语言与知识图谱动态生成技术并研制相关标准;研究工业知识推理、关联与预测技术,构建面向产品全生命周期的知识图谱,形成业务智能体系并进行技术验证。

考核指标:突破产品全生命周期的工业知识软件化基础理论方法/技术 $\geq 3$ 项,研发支撑产品全生命周期的工业知识图谱构建的软件构件,支持与典型CAX系统集成;构建覆盖研发设计、仿真与运维服务等产品生命周期活动的知识图谱,支持海量知识

条目处理；获得软件著作权 $\geq 1$ 项；制定国家或行业或团体标准 $\geq 2$ 项。

关键词：产品全生命周期，知识图谱，工业知识

#### 1.4 网络化嵌入式产品数据管理基础理论（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：针对复杂产品研制的需求分析、功能设计、逻辑设计、物理设计、工艺设计、生产制造到运维保障等全周期数据管理的需求，研究多领域模型管理与关联设计、复杂技术状态管理、统一数据建模与模型实例管理、基于云服务总线（CSB）的服务集成、跨领域参数指标追溯等网络化嵌入式产品数据管理的基础理论和多模态工业大数据建模分析等关键技术，研发网络化嵌入式产品数据管理软件框架并在相关行业复杂产品研制中进行原理验证。

考核指标：突破网络化嵌入式产品数据管理基础理论方法/技术 $\geq 3$ 项，研发形成网络化嵌入式产品数据管理软件框架，50并发请求10万级别物料清单（BOM）结构化查询与过滤计算效率不超过40秒；支持跨领域参数指标追溯；支持需求管理、CAD、CAE（结构、流体、电磁至少一种）、结构化工艺设计等主流工具的集成方法；在相关行业复杂产品研制中进行原理验证，产品数据管理规模达到TB级别，产品结构零部件规模超过10万个以上；获得软件著作权 $\geq 1$ 项。

关键词：产品数据管理，嵌入式产品，产品全生命周期

### 1.5 装备电磁环境适应性仿真优化软件（共性关键技术类）

研究内容：针对大型装备电磁环境适应性设计优化需求，研究大型装备电磁环境适应性需求/仿真/设计/控管一体化机理建模方法和面向 EDA 的系统链路描述方法；研究大型装备电磁场时—频联合并行仿真算法，基于机理与经验融合的高精度电磁场—电路协同仿真算法；研究电气、电磁与结构等多学科电磁环境适应性优化与调控方法；研究大型装备高动态电磁环境适应性在线评估方法，以及大型装备电磁环境适应性知识准则；研发大型装备电磁环境适应性仿真优化构件库。

考核指标：突破模型驱动的电磁环境适应性仿真优化关键技术  $\geq 5$  项，建立电磁发射谱特征、电磁敏感谱特征、电磁耦合特征、场路协同等仿真分析算法库，电磁环境适应性仿真精度误差小于等于 6dB（对标仿真软件 CST），支持千核、亿级网格以上尺度的电磁环境适应性并行计算（对标并行计算软件 FEKO），支持大型装备时、空、频、能等 4 域的电磁环境适应性协同设计与优化（对标优化软件 ADS）；研发 1 套大型装备电磁环境适应性仿真优化软件，形成基于自主 CAE 核心求解器的开源构件库，在航空航天、兵器装备、先进核电等不少于 3 个行业进行示范应用，示范应用装备规模不少于 20 个子系统；获得软件著作权  $\geq 3$  项，制定国家或行业或团体标准  $\geq 3$  项。

关键词：装备，电磁环境适应性，仿真优化软件

## 1.6 电机装备与系统多时间尺度工业仿真软件（共性关键技术类）

研究内容：针对电机装备与系统“连续—离散”混杂动力学表征问题，研究电机装备领域通用的广义混杂动力学建模方法，研发电机装备（电机本体、电力电子变换器及其控制器、机械负载等）器部件及整体装备模型，支持非线性模型表征、“电—磁—机械”等多物理表征和秒级到纳秒级多时间尺度表征；研发基于事件驱动的电机装备与系统多时间尺度（秒级到纳秒级）求解算法；研发大规模电机装备混杂系统仿真高效算法；研究多学科多尺度模型集成、互联网环境下模型众创分享协作技术，支持构建复杂产品与装备系统多学科协同仿真分析平台；研究模型编译、仿真代码自动生成等关键技术；研制电机装备与系统多时间尺度工业仿真软件。

考核指标：突破电机装备与系统多时间尺度工业仿真关键技术 $\geq 5$ 项，开发电机装备领域器部件及装备模型300类以上，建立功率半导体开关器件瞬态模型库（100种型号以上）；提出大规模电机装备混杂系统事件驱动仿真算法3种以上，在10台以上电机装备构成的复杂系统中仿真速度相比电机装备领域普遍采用的商业软件（PSIM、PLECS和MATLAB/Simulink）提高10倍以上，相对误差小于0.1%；开发面向典型应用场景的电机装备与系统动态仿真算例30个以上，纳秒级电磁瞬态过程仿真与实验结果比较平均误差小于5%；研发1套电机装备与系统多时间尺度

工业仿真软件，形成基于自主 CAE 核心求解器的开源构件库，支持包含 10 台以上电机装备、100 个以上电力电子开关器件的复杂产品与系统仿真设计，支持电、磁、机械等多学科协同仿真分析；获得软件著作权  $\geq 2$  项，制定国家或行业或团体标准  $\geq 3$  项。

关键词：电机装备仿真，混杂系统，事件驱动，多时间尺度

### 1.7 装备健康监测与数据融合分析软件（共性关键技术类）

研究内容：针对复杂装备高可靠连续运行与健康需求，研究复杂装备多源多模态数据融合技术、装备运行状态表征方法；研究模型与数据混合驱动的装备故障预测与健康管理技术，建立复杂装备关键部件/系统/整机数字孪生模型与性能基线；研究装备机群运维决策多尺度协同优化与资源调度技术；构建覆盖典型结构件、控制系统与整机的故障数据库、数字化辅助维修资源库；研究装备故障预测与健康管理算法模型的可视化建模与验证技术，构建装备健康状态评估指标体系；研发复杂装备健康监测与数据融合分析软件，支持大型复杂装备的健康状态监测、预测性维护与运维服务；针对典型装备进行健康监测与数据融合分析关键技术、故障诊断和预测性维护核心算法及软件的应用验证。

考核指标：突破复杂装备健康监测与数据融合分析关键技术  $\geq 5$  项，对标 SureSense 软件，形成典型装备故障预测算法库、数字化辅助维修资源数据库、智能协同调度核心算法及软构件各 1 套，包含部件或系统或整机的故障诊断和预测性维护模型不少于 20 种，形成装备健康状态评估指标体系 1 套；研发复杂装备健康

监测与数据融合分析软件 1 套，支持故障建模、因果分析、状态分析、FMECA 分析等不少于 10 种故障分析、故障预测等功能，故障预测预警准确率不低于 90%、召回率不低于 80%，构建复杂装备数字孪生模型与数据可视化交互显示平台，在能源装备、航空航天、轨道交通、大型电子装备、工程机械等不少于 3 个行业、10 家企业的典型装备上进行应用验证，并取得一定的经济社会效益；获得软件著作权 $\geq 3$ 项；制定国家或行业或团体标准 $\geq 3$ 项。

关键词：复杂装备，健康监测，故障预测，数据融合

### **1.8 基于模型的系统工程建模工具软件（共性关键技术类）**

研究内容：针对复杂产品全生命周期需求分解与分配、方案快速论证的正向研发设计需要，研究基于模型的系统工程（MBSE）的产品数据管理理论与创新技术，研究复杂产品数字化系统工程研制模式，研究模型驱动的产品生命周期管理与社会化协作的开放化生态理论及技术体系，研究端云协同的新型工业软件架构设计、快速开发方法与软件标准，研究基于协作式的新型工业软件平台开发技术，研发复杂产品基于模型的系统工程建模工具软件；研究复杂产品正向设计的建模技术，构建产品“需求—功能—行为—架构—几何”多域弱耦合系统建模语言，突破模型驱动的正向设计、仿真联调、评估决策等产品分布式协同设计技术，研发产品多域架构的统一建模引擎；研究复杂产品工作原理、流程时序、运行状态等功能仿真验证技术，研发产品多功能的逻辑仿真引擎；研究基于场景的产品全过程运行可视化技术，

研发仿真驱动的可视化分析工具。

考核指标：突破基于模型的系统工程建模、基于协作式的新工业软件平台开发技术等关键技术 $\geq 5$ 项，研发1套基于协作式的复杂产品MBSE建模工具软件，支持 $\geq 50$ 人的协同并发设计；构建体系/系统/软件一体化的建模引擎，支持 $\geq 4$ 种以上建模语言标准，模型重用率100%；构建行为/参数/实例一体化的逻辑仿真引擎，支持至少20个活动图并行仿真且连续48小时不间断运行，支持500个以上模型元素的仿真求解；构建功能逻辑仿真驱动的可视化引擎，可视化场景画面刷新率不低于25帧/秒，支持可视化实体模型 $\geq 50$ 个；形成端云协同的系统工程建模软件框架与至少两个行业的数字化系统工程解决方案，支持复杂产品数字化系统工程研制模式，在典型领域至少2个重大型号开展应用验证；获得软件著作权 $\geq 6$ 项，制定国家或行业或团体标准 $\geq 2$ 项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：模型驱动，系统架构，仿真设计，统一建模

## 2 智能工厂技术与系统方向

### 2.1 面向规模化生产过程的多源异构数据感知分析理论（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：针对3C等大规模复杂制造过程的多源异构数据采集、处理与应用的定制化程度高、部署周期长、利用率低等问题，研究制造资源的异构数据采集、传输模型、通用接口；研究机器数据和业务数据的互联互通模型、技术和标准；研究基于AI

使能的多源异构数据的应用表征和轻量级分布式数据分析和机器学习；研究基于全要素智能感知、数据/机理混合驱动的制造系统智能优化决策理论与方法；研究平台化和标准化的多源异构数据采集、处理及分析软件架构，并研制软件平台原型。

考核指标：突破制造过程多源异构数据采集、制造系统智能优化决策等理论方法和技术不少于 5 项，撰写专著 1 部；开发大规模分布式多源异构数据采集、处理与分析平台原型 1 套，支持多源异构数据融合、应用表征、优化决策等功能；在 3C、传感器制造等 2 个行业进行原理验证，减小数据采集软件部署时间 10% 以上，获得软件著作权不少于 3 项。

关键词：规模化生产，全要素智能感知，多源异构数据融合

## **2.2 面向离散制造过程的信息建模及控制仿真方法（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：针对离散制造过程控制面临的部署效率低、调试困难、智能化水平低等问题，研究制造过程模型框架，以及融合物理实体和管理、资源等要素的抽象建模方法，研究装备、单元、产线等不同层次统一信息模型及分层信息交互方法；研究涵盖制造对象、工具、工艺、管理调度的描述方法与模型转换规则；研究典型制造装备过程控制模型、端—边—云协同的实时决策与生产过程控制仿真方法、工业系统多模态人机交互与控制决策方法；研究工业控制软件语义分析方法与工具，生产过程智能控制策略自动生成及可视化动态配置方法，研发离散制造生产过程的控制

软件平台框架。

考核指标：突破端一边一云协同实时决策、过程控制仿真等关键技术不少于3项，撰写专著1部；研制端一边一云协同面向离散生产过程的控制软件平台框架1套，支持过程控制仿真、控制策略自动生成、制造资源动态配置等功能，支持不少于10种典型制造装备快速集成和协同控制，在3C、传感器制造等产线控制领域进行原理验证，减小调试时间15%以上，不同应用场景代码复用率50%以上；获得软件著作权不少于3项。

关键词：控制仿真，信息建模，离散制造过程

### **2.3 智能工厂物流系统管控优化决策理论与架构（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：针对当前工厂物流管控无法适应制造过程的柔性化、可重构等要求，研究智能工厂全域物流管控架构及软件定义的边缘处理、管理壳、自动互联等技术；研究制造过程与产品质量的全生命周期标印、追踪与甄别技术；研究生产与物流协同的复杂制造系统物流优化决策与集成控制理论方法；研制支持灵活配置、标准化集成接口的物流管控基础软件框架。

考核指标：提出智能工厂全域物流管控架构，突破典型离散制造物流系统管理壳、全生命周期标印、自动互联、数据驱动的物流优化决策等方法和技术不少于5项；撰写专著1部，开发支持灵活配置、标准化集成接口的物流管控基础软件框架；在新能源、电子制造等典型行业进行应用验证，实现95%以上的物

料实时追踪管控，提升物流响应时间 20%以上。

关键词：全域物流管控架构，物流优化决策与集成控制，自动互联，物流管控基础软件框架

#### **2.4 大规模定制化生产中异常管控与决策理论(基础研究类)**

研究内容：研究复杂制造系统业务建模理论；研究生产组织过程中异常状态感知、影响评估、动态调度与优化等方法；研究强扰动环境大规模异构数据集成技术、基于数据协同驱动的“感知—评估—决策—优化”闭环控制机制；研究模型/数据驱动的大规模定制化生产异常管控软件构件快速开发方法，开发异常管控与决策的模型及软件构件，并在离散制造行业开展应用验证。

考核指标：提出复杂制造系统业务建模理论，揭示复杂约束和目标优化条件下的高效运行优化机制，撰写专著 1 部，形成一套大规模定制化生产异常管控与决策软件，异常机理模型  $\geq 10$  项、决策模型库  $\geq 10$  项、微服务软件构件  $\geq 3$  套；大规模定制生产模式异常检测并发数  $\geq 100$ ，检测准确率  $\geq 95\%$ ，异常管控响应时间减小 25%以上；在离散制造行业应用验证，获得软件著作权  $\geq 3$  项。

关键词：异常管控，异构数据，动态调度，闭环控制

#### **2.5 面向热加工过程质量和能效综合管控理论方法(基础研究类)**

研究内容：针对离散制造行业热加工过程质量和能效管控粗放、企业需求差异大、缺乏共性服务平台等问题，研究热加工制造单元在线检测、加工精度、能效管控等理论方法。研究高温精密模

压成形、锻压、热轧、热处理等高耗能离散制造工艺过程在线检测与分析、加工质量及典型工艺装备精准能耗模型；研究高耗能制造过程的多能源需求精准预测模型及需求供给平衡调度方法；研究车间脉动能源供应等动态扰动场景下的融合生产过程和制造资源等要素的智能工厂综合决策模型；研制兼顾热加工过程质量和能效综合管控平台原型系统，在典型高能耗离散制造企业开展原理验证。

考核指标：构建模压成形、轧制、锻压、热处理等 3 种以上典型工艺过程能耗模型，模型精度  $\geq 95\%$ ，撰写专著 1 部；突破模压成形、锻造、热轧、热处理等生产过程能源流仿真、能源需求供给平衡调度方法、综合能效决策模型等核心技术  $\geq 3$  项；研发分布式质量和能效管控平台原型系统，支持端边灵活部署及功能可剪裁，构建装备模型库、能源需求预测模型等不少于 5 种；开发可实现能效提升的工艺优化、质量控制等 3 种以上服务 APP，在 2 家以上航空航天或汽车等制造企业开展原理验证，实现产品不良率降低 10%、综合能效提升  $\geq 15\%$ ，制定国家或行业或团体标准 2 项。

关键词：能效管控平台，高耗能制造，综合决策模型

## 2.6 激光加工过程多尺度仿真与监测控制软件（共性关键技术类）

研究内容：针对先进激光制造过程中工艺自主能力差等问题，开发基于原位测量的微纳加工、三维复杂微细结构激光加工等专用工艺与制造集成软件。研究光子—电子—离子—连续介质

多尺度耦合算法架构，阐明拓扑架构下多模块软件融合机制，研究先进激光微纳加工工艺方法，建立超快激光制造过程多尺度动力学仿真算法库，开发集成软件；研究基于在位测量的微纳加工新型多维度和跨尺度的原位监测方法，攻克多尺度三维超快连续成像、多重复杂工艺参数智能规划及控制等技术，搭建复杂超快激光加工工况下加工—监测模块多维联动与高效采集监控系统；构建超快激光参数智能化设计和精准调控数据库。

考核指标：开发超快激光微纳加工工艺仿真软件 1 套，仿真软件涵盖电子、原子及连续介质多时空尺度耦合，形成光场驱动材料瞬态物性数据库（物性种类 $\geq 6$ ），时间尺度 fs ~ s，空间尺度 nm ~ mm；研发新型多维度和跨尺度原位监测原型系统，时间分辨率 $\leq 200$ fs、空间分辨率 $\leq 50$ nm；支持 Python、labview 等常规语言二次开发；形成涵盖皮秒、飞秒激光加工高温合金、SiC、陶瓷等 3 种材料的工艺数据库 1 套，在航空航天、光学器件、3C 等典型难加工材料微细构件飞秒激光加工上验证应用。获得软件著作权 $\geq 10$  项，制定国家或行业或团体标准 $\geq 5$  项。

关键词：微细激光加工，多时空尺度耦合，仿真/监测

## 2.7 石油基乙烯流程工艺仿真软件（共性关键技术类，定向委托）

研究内容：研究高温热裂解、催化反应和分离过程工艺机理和关键技术，构建流程工业先进工艺模型库，研究高温热裂解、催化反应和分离过程工艺机理和关键技术，突破物性数据库、模

型库和算法等关键技术，研发高温热裂解、催化反应和分离过程等专用模拟软件。研发原油及馏分油分子成分数据分析、建模的软件算法工具，构建包含虚拟/真实油品分子的结构表征数据库，覆盖炼油、乙烯生产过程的主要物料；研究大规模非线性优化降维技术，物流、能流、物性等关键变量跨流程传递技术；揭示石油烃高温裂解、催化和烯烃聚合等反应机理，构建其物质转化工艺模型库；研发高效仿真与大规模优化求解算法；仿真软件支持模型重用、流程调试、分析诊断和图形化交互。

考核指标：研发高温热裂解、催化反应和乙烯分离过程等专用工艺仿真软件，内含数量不少于 100 个单元工艺模型库，覆盖油制乙烯、烯烃聚合等乙烯产业链关键装置，其中：原油加工装置类型不少于 5 种，裂解产物分离装置类型不少于 3 种，烯烃聚合装置不少于 2 种，油品数据库实例不少于 2000 个，聚烯烃可表征最大链长不低于  $10^5$ ；优化算法求解规模不低于十万维，具有稳定收敛性。软件在 2 家千万吨级以上炼化一体化企业应用；撰写专著 1 部，获得软件著作权不少于 10 项。项目应用由中国石油化工股份有限公司组织成果评价，其中中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司、中国石化上海石油化工股份有限公司等企业提供综合绩效评价的《应用效益分析报告》与《应用证明》。

有关说明：定向委托国家流程制造智能调控技术创新中心牵头组织实施。配套经费与国拨经费比例不低于 2:1。

关键词：油制乙烯，工艺流程，工业仿真软件，高效求解算法

## 2.8 面向机械加工的智能工厂建模仿真与优化工具软件（共性关键技术类）

研究内容：针对机械制造行业智能工厂建模仿真与运行优化需求，研发智能产线辅助设计与运行仿真软件平台。研究基于离散事件动态系统理论的多层次混合建模方法，研发机械加工系统与生产过程的优化、仿真与调度算法；研究三维目标跟踪注册技术、虚实融合技术和人机交互技术，研究基于快速三维建模的智能工厂产线重构技术；研究数据驱动的智能工厂“虚—实”同步仿真优化技术，研究智能工厂数字孪生建模方法，研发智能工厂产线建模仿真与优化工具软件。

考核指标：形成集建模/仿真/优化于一体的自主可控工厂建模仿真软件工具，具备数字孪生、人机交互、过程控制仿真、标准接口、自动分析和可视化分析等功能，对于 100+设备、1000+订单、10000+工序的车间仿真模型，单次仿真运行时间 $\leq 20$ 秒，1000次仿真试验时间 $\leq 30$ 分钟；形成智能生产建模软件和模块化设计组件库，包含：三维设计组件库 $\geq 50$ 个，覆盖车间类型 $\geq 5$ 种，内嵌优化算法类型 $\geq 10$ 种；在机械制造行业的2家以上企业应用验证；获得软件著作权 $\geq 5$ 项；制定国家或行业或团体标准规范 $\geq 5$ 项。

关键词：工厂建模仿真，人机交互，虚实融合，混合建模

## 2.9 离散制造业智能工厂制造运营管理平台（MOM）（共性关键技术类）

研究内容：研究基于模型的“云边端”协同环境下工厂运

营管理 MES/MOM 平台构建等技术；研究分布式环境下多企业多组织制造资源配置、运营分析与智能决策等技术；研究制造资源数据封装、智能交互等技术，提出制造过程数据交互标准，建立统一的生产执行、物流调度、质量管理等数据模型；研究面向制造运营的语义任务交互模型与语义指令响应技术，研究基于数据与任务驱动的智能工厂开放式、模块化管控系统（MOM）架构与标准组件，研制满足精益化、柔性化、智能化的工厂管控软件平台。

考核指标：形成面向协同制造的 MOM 架构，开发参数优化、数据封装与交互、生产运行等软件组件  $\geq 5$  项；突破分布式和动态复杂工业环境下制造执行系统等 5 项关键技术，研制 1 套满足精益化、柔性化、智能化的工厂管控软件平台和智能制造助理工具，语义指令对基础制造任务的覆盖率不少于 75%，支持生产执行、制造设备、工厂物流、计划排产等不少于 15 项运营管控功能；在航空航天、船舶、工程机械、汽车及零部件、电力设备、半导体等行业选择应用，提升产品制造效率 20%，制造响应时间减小 15%，获得软件著作权  $\geq 10$  项；制定 MOM 相关国家或行业或团体标准  $\geq 5$  项。

关键词：制造运营管理（MOM），软件架构，资源配置，数据封装

### 3 产业协同技术与平台方向

#### 3.1 产品研发过程多层次数字孪生技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：数字孪生技术是智能制造关键使能技术，针对当前

工业数字孪生系统计算模型不精、实时协同不畅、迭代演进不够、安全管控不足、系统适配性不强等关键问题，研究高效可控工业数字孪生通用理论和技术架构、数据/模型/服务联合驱动下数字孪生体交互迭代与动态演进理论以及产品设计、生产制造和运维服务高保真数字孪生技术、适配产品设计/制造/服务的多层级数字孪生标准化技术，突破产品数字孪生体虚实映射、协同设计、迭代演进和安全管控等关键技术，研发基于多层级数字孪生的设计/制造/服务标准化可配置的应用原型系统，并进行技术和系统的应用验证。

考核指标：建立一套可适配产品设计、制造、服务多阶段的多层级数字孪生体构建的标准化技术体系和系统架构；突破产品数字孪生体虚实映射、协同设计、迭代演进和安全管控等关键技术 $\geq 5$ 项，形成技术报告；研发多层级数字孪生构建与应用的算法和模型 $\geq 10$ 个，研发基于多层级数字孪生的设计/制造/服务标准化可配置的应用原型系统，针对航空航天、轨道交通等领域，建立2个及以上典型场景，开展应用验证。

关键词：数字孪生，设计/制造/服务一体化，工业软件平台

### **3.2 基于模型驱动工程(MBE)的分布式制造理论与方法(基础研究类)**

研究内容：针对复杂产品跨时空/跨领域/长周期生产对高质量、高效率及高可信的分布式制造系统的重大需求，研究基于MBE的复杂产品分布式制造工程理论及业务协同机制；研究“需求—功能—行为—架构—几何”跨域跨学科统一表达方法，支持

多域弱耦合系统建模语言；研究分布式制造资源与跨域业务流程的区块链机制、智能合约和服务模式及基于区块链的产品全要素标识/解析/追溯技术；研究分布式制造模型架构与模型计算协同技术，研发基于 MBE 的分布式制造原型系统及相关工具，在相关领域开展技术验证。

考核指标：提出 1 套基于 MBE 的复杂产品分析/设计/制造/服务/运维分布式制造工程理论、机制与方法；突破分布式制造模型架构与模型计算协同等关键技术  $\geq 5$  项，协同效率提升 30%；研发基于 MBE 的分布式制造原型系统 1 套及建模、设计、验证与分析等工具  $\geq 5$  个；形成 1 套跨域可参考实现的分布式制造解决方案，建立支持跨时空、多学科协同的网络化协作体系与分布式制造技术体系；在核电/轨道交通/海洋工程等领域中选择至少 1 个领域开展技术验证，模型质量、完整性、可重用性等关键指标提升 20% 以上；获得软件著作权  $\geq 5$  项，制定国家或行业或联盟标准  $\geq 2$  项。

关键词：分布式制造，MBE，模型协同，区块链

### **3.3 制造服务融合供应链理论（基础研究类）**

研究内容：针对典型制造领域产业链协同需求，基于工业互联网平台，研究新信息技术下融合制造供应链与服务链的供应链集成及制造服务协同规律与价值共创机理；研究面向供应链与服务链多任务、跨流程的分层跨域资源配置及制造服务协同管控方法，包括支撑制造服务协同管控的数智化供应链全要素互联、跨维度互融技术，数据驱动的制造与服务全流程业务精准预测、自主决策和优化

调控技术；研究不同服务场景下基于制造协同的采选、配送、深加工、回收等供应链运行管理优化方法，形成跨企业、跨组织、跨区域、跨价值链的制造服务协同管控机制，支撑形成制造/服务跨界融合的价值链融合生态；研发支持工业大数据与知识管理、满足个性化需求、可敏捷构建的供应链制造与服务协同管控原型系统，在航空航天、有色冶金等典型制造领域开展技术应用验证。

考核指标：形成制造供应链与服务链融合的供应链集成理论方法体系；突破多任务、跨流程的分层跨域资源配置及制造服务协同管控关键技术 $\geq 5$ 项；撰写专著1部；获得软件著作权 $\geq 5$ 项，制定相关国家或行业或联盟标准 $\geq 3$ 项；研发基于供应链集成的制造与服务协同管控原型系统；针对2个及以上典型制造行业链主企业，开展技术应用验证。

关键词：制造服务融合，供应链集成，价值共创机理，自主决策与协同管控

### **3.4 产业链协同数字生态理论（基础研究类）**

研究内容：围绕创新产业价值链数字生态、支撑产业生态的重大需求，探索制造业产业价值链数字生态发展模式；研究面向分布式制造的价值网理论，基于区块链和数据智能的制造业数字生态构建及优化理论；研究基于价值网的区块链、基于区块链的多价值链数字生态运行和服务等技术；基于价值链协同平台及多类型多核心企业上下游协作构建的多价值链核心业务协同数据，研发产业链协同数字生态支撑构件及数字生态原型系统，在典型

离散制造业开展服务验证。

考核指标：形成基于产业链协同平台的数据资源聚集与数字生态构建/运行/服务方法及机制，提出多价值链企业群形成的价值网业务协同模型，形成产业链协同数字生态理论，撰写专著 1 部；突破基于价值网的区块链、基于区块链和数据智能的数字生态构建、多价值链数字生态运行和服务等技术  $\geq 5$  项，研发产业链协同数字生态支撑构件  $\geq 5$  项；形成基于价值链协同云平台的多类型多核心企业上下游协作产生的前后累计超 5000 家各类企业上亿条多价值链协同业务数据资源，研发建立数字生态原型系统，在典型离散制造业开展原型验证，服务多个价值链。获得软件著作权  $\geq 5$  项，制定相关国家或行业或联盟标准  $\geq 3$  项。

关键词：产业价值链，价值网，数字生态

### 3.5 产业链互联操作系统核心研发（共性关键技术类）

研究内容：针对工业互联网环境中产业价值链孤岛问题突出、跨价值链应用构建难度大等问题，围绕企业运营管理和产业价值链协同，研究企业资源管理及供应链、营销链、服务链、配件链开展协同和服务的典型一体化业务模型和业务流程；研究业务模型和业务流程的管理和抽象、产业链互联操作系统体系架构、互联操作系统内核、开放式业务协同与服务框架、应用软件快速构建等关键技术；研发产业链互联操作系统核心，支撑多厂商 ERP 系统与产业价值链协同平台的数据共享和生命周期管理，开展基于数据资源的多链智能服务；面向离散制造业，基于典型 ERP 等

系统开展应用验证；面向大规模制造产业，基于第三方多价值链协同平台开展应用验证。

考核指标：研发产业链互联操作系统核心软件 1 套，面向离散制造业，接入国内领先的主流 ERP 自主品牌软件  $\geq 3$  个，相应的 ERP 国内市场占有率  $\geq 40\%$ ；接入面向大规模制造产业的自主第三方多价值链协同平台  $\geq 1$  个，已具备各类核心企业及其上下游协作企业群协同产生的规模超亿条业务协同数据。面向企业运营管理和产业价值链协同的典型业务，管理和抽象包括多链协同在内的核心业务模型和流程  $\geq 100$  项，支撑不少于 150 个业务事件，制定相关国家或行业或联盟标准  $\geq 30$  项，标准应得到包括接入的 ERP 自主品牌软件企业以及第三方多价值链协同平台企业共同在内的相关组织批准，并共同执行。攻克产业链互联操作系统体系架构、产业链互联操作系统内核、开放式业务协同与服务框架、应用软件快速构建等关键技术  $\geq 10$  项，获得软件著作权  $\geq 50$  项。建立基于操作系统的开放式运行服务及生态体系，基于操作系统核心的工业应用开发企业  $\geq 45$  家。建立操作系统典型应用场景，支撑接入的 ERP 自主品牌软件之间、与第三方多价值链协同平台之间实现数据共享和数据生命周期管理，基于第三方平台建立数亿条规模的价值链协同业务数据服务资源；基于 ERP 应用的离散制造业典型应用企业  $\geq 50$  家，基于第三方多价值链协同平台应用的价值链上各类应用企业累计  $\geq 2000$  家，第三方平台建设/运营企业与平台应用企业群应无关联关系。

关键词：企业运营管理，产业价值链协同，产业链互联操作系统

### 3.6 可组装的智能云企业资源计划（ERP）系统（共性关键技术类）

研究内容：针对 ERP 云化、柔性可组装、超级自动化等新发展趋势，结合全国产环境需求，研究制造企业智慧型运营管理理论和感知型自治组织运行机制；研究可组装业务应用架构，需求实时聚合、领域知识自动化等技术；研究基于数字员工的智能工作流程协同优化、流程挖掘技术；研发支持产业协同优化的可组装智能云 ERP 系统，支持数字营销、社会化用工、产运销储协作等领域智能端到端流程，实现制造资源敏捷配置与产业协同，构建易于快速部署、基于云原生及微服务架构、流程全覆盖的解决方案，聚合 ERP 产业生态，在典型行业大型集团企业应用验证。

考核指标：突破需求实时聚合、应用服务快速组装、领域知识自动化和智能化、智能工作流程协同优化与流程挖掘等不少于 6 项关键技术，支持跨业务链的端到端流程  $\geq 7$  种，可复用的领域模型  $\geq 50$  个，支持 50 种应用模型的可视化建模和 3 级以上分层组装能力，支持微服务多粒度动态定义和柔性运行。研发支撑可组装和超级自动化的核心算法和组件库  $\geq 20$  个；突破可组装业务应用体系架构，研发支持产业协同优化的可组装式智能云 ERP 系统，内置产业协同优化可组装业务模板  $\geq 10$  个，覆盖 8 个以上业务领域，对标 SAP 等先进产品功能覆盖度  $\geq 95\%$ ，支持并发用户  $\geq$

10000 个，提供在线应用市场和协同社区，内置可重用的应用类型及应用模板 200 个以上，在开源社区设立开源项目，发展应用开发伙伴 50 家以上，在航空航天、船舶、工程装备、电力装备等 4 个及以上行业 20 家大型集团企业的全国产环境中开展应用验证；获得软件著作权  $\geq 5$  项，制定国家或行业或联盟标准  $\geq 5$  项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：产业协同优化，智能云 ERP，国产化替代，可组装，自动化

### **3.7 第三方主导的产业链网状协同服务平台（共性关键技术类）**

研究内容：围绕制造业发展模式创新、推进价值链重塑的重大需求，研究第三方主导的产业链网状协同模式；研究基于区块链和价值链管控的产业链网状协同平台体系架构；研究网状结构产业价值链协同和优化、基于区块链的产业价值链管控和运行、数据驱动的多价值链群智协同、基于数据智能的价值链控制塔等关键技术；研发第三方主导的产业链网状协同服务平台，开展多类型多核心企业上下游协作价值链的协同和服务应用验证。

考核指标：面向大规模离散制造业的典型产业链业务协同场景，研发第三方主导的产业链网状协同服务平台 1 套；应已具备累计上万家各类核心企业及其上下游协作企业群协同产生的规模超亿条业务协同数据，构建形成规模化的多价值链协同业务数据服务资源，支撑网状结构产业价值链的多链协同和服务；攻克网状结构产业价值链协同/优化/管控/运行、基于价值链管控的数据智

能服务、基于数据智能的价值链控制塔等关键技术  $\geq 5$  项，研发相关软件构件  $\geq 10$  个，获得相关软件著作权  $\geq 10$  项，制定国家或行业或联盟标准  $\geq 5$  项；建立第三方运营服务体系，平台实现第三方运营，第三方运营企业应具备运营服务资质，并与平台应用核心企业及其上下游协作企业群无关联关系；面向大规模离散制造业，突破制造企业为核心上下游协作的传统“链式结构”价值链协同体系，构建支撑产业价值链网状协同和服务应用场景  $\geq 5$  个，各类应用企业累计超 2000 家，企业间协同效率提升  $\geq 10\%$ 。

关键词：网状结构价值链，第三方平台，价值链业务协同

### **3.8 产业聚集区域业务资源服务工业软件平台（应用示范类）**

研究内容：针对产业配套体系集聚完整的典型产业聚集区域，研究新一代中小企业群工业软件平台的发展模式和商业模式、产业价值网协同与创新发展模式；集成本专项等相关研发成果，研究数字孪生/智能控制/智能物流/智能检测/智能管控/智能决策/绿色双碳等产业技术共性资源云端接入与集成共享、管理类工业软件云化等技术；研究区域典型企业群供应链协同、分布式制造资源信息建模、统一规划与调配等技术；研发面向典型制造模式的产业聚集区域业务资源服务工业软件平台，集成自主工业软件、科技创新资源等服务；并在集成电路、模具、服装鞋帽、发电装备等典型产业聚集区域开展应用。

考核指标：形成基于工业软件平台的产业聚集区域业务资源服务发展模式；突破产业技术共性资源云端接入/整合管控/集成共

享、管理类工业软件云化等关键技术 5 项以上，建立典型产业聚集区域业务资源服务工业软件平台，集成产业集群业务服务资源 5000 项以上，形成可持续的资源接入和共享机制，形成典型产业聚集区域工业软件应用发展模式和集成解决方案，在不少于 4 个省市的 4 个不同典型产业集群开展应用，服务企业 1000 家以上，产业聚集区域产业链企业群协作能力得到明显提高，协同效率提升 20% 以上，资源配置效率提升 20% 以上；培训自主工业软件应用人才 10000 人次以上；制定国家或行业或团体标准 5 项以上。

有关说明：企业牵头申报。

关键词：产业群，战略管控集成系统，产业链协同

### **3.9 区域多模式协同和创新工业软件平台（应用示范类，定向择优）**

研究内容：针对区域产业集群中小企业数字化建设过程中工业软件资源共享缺乏、业务场景定制能力弱、产业集群协作不足等企业群创新发展问题，研究工业互联网环境下产业集群众包/众创/众扶多模式协同的数字化发展模式和商业模式；研发面向产业集群的工业软件资源共享规范、数据驱动的众包设计/协同制造/协同供销/协同服务/大数据管控分析等场景建模、多企业快速部署、多核价值网企业群业务跨界融合、市场共创等关键技术；研发面向区域特色产业集群的多模式协同和创新工业软件平台，集成生产制造、试验仪器、技术知识等资源，并在电力装备、精密数控、印刷机械、汽车等产业集群开展应用。

考核指标：形成工业互联环境下的区域产业协同发展模式；突破工业软件资源共享规范、数据驱动的场景建模等关键技术不少于 10 项；开发面向区域产业集群的多模式协同和创新工业软件平台，形成 2 类以上产业集群的众包/众创/众扶多模式协同与创新工业软件平台解决方案，建立平台运营服务体系，并展开应用验证，汇聚工业软件企业不少于 50 家，集成多模式协同资源 1000 项以上，形成可持续的资源接入和共享机制；服务西部地区不少于 4 个省市的 4 个不同产业集群企业 1000 家以上，提升企业间效率 20% 以上，减少业务交互次数 20% 以上；培训自主工业软件应用人才 10000 人次以上；制定国家或行业或团体标准 5 项以上。

有关说明：本指南方向由四川省、陕西省、甘肃省、青海省、云南省、贵州省、重庆市、广西壮族自治区、内蒙古自治区、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区、西藏自治区等西部地区各地方科技主管部门组织推荐，企业牵头申报。

关键词：区域产业集群，众包/众创/众扶，多模式协同，市场众创

### **3.10 区域产业链协作企业群业务协同工业软件平台（应用示范类，定向择优）**

研究内容：针对产业链企业群协同创新能力弱、资源共享程度低、业务协作水平差等问题，研究大规模定制/规模化制造等典型制造模式下产业价值链协同和创新理论，研究分布式制造资源

实时感知与云端接入、信息模型表征、制造执行智能预测决策与全局整合管控、供应链协作、专精细业务场景适配等关键技术，研发产业链协作企业群业务协同工业软件平台，构建支持典型制造模式的工业软件全流程解决方案，在汽车、家电、电气装备等产业链协作企业群开展应用，实现制造资源和能力的全系统、全周期、全方位互联、决策、优化、服务，提升产业链及中小企业群整体竞争力。

考核指标：形成大规模定制/规模化制造等典型制造模式下的区域产业协同发展模式；突破典型制造模式的产业链协作企业群制造资源共享、价值链协同关键技术不少于 10 项，构建产业链协作企业群业务协同工业软件平台，集成产业链资源 5000 项以上，形成可持续的资源接入和共享机制，支持制造资源、制造能力、产业链集群供应链信息、销售等业务动态优化；服务东北地区不少于 3 个省市的 3 个不同产业链协作群企业 1000 家以上，提升企业间效率 20% 以上，减少业务交互次数 20% 以上；培训专业应用人才 10000 人次以上；制定国家或行业或团体标准规范不少于 5 项。

有关说明：本指南方向由黑龙江省、吉林省和辽宁省等东北地区各地方科技主管部门组织推荐，企业牵头申报。

关键词：价值链，中小企业群，全系统/全周期/全方位

## **“工业软件”重点专项 2023 年度 “揭榜挂帅”榜单**

为深入贯彻落实国家科技创新有关部署安排，切实加强创新链和产业链对接，“工业软件”重点专项聚焦国家战略亟需、应用导向鲜明、最终用户明确的重大攻关需求，凝练形成 2023 年度“揭榜挂帅”榜单，现将榜单任务及有关要求予以发布。

### **一、申报说明**

本批榜单拟启动 3 个项目，共拟安排国拨经费不超过 2.1 亿元。每个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 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

榜单申报“不设门槛”，项目牵头申报和参与单位无注册时间要求，项目（课题）负责人无年龄、学历和职称要求。申报团队数量不多于拟支持项目数量的榜单任务方向，仍按程序进行项目评审立项。明确榜单任务资助额度，简化预算编制，经费管理探索实行“负面清单”。

### **二、攻关和考核要求**

揭榜立项后，揭榜团队须签署“军令状”，对“里程碑”考核要求、经费拨付方式、奖惩措施和成果归属等进行具体约定，并将榜单任务目标摆在突出位置，集中优势资源，全力开展限时攻关。项目（课题）负责人在揭榜攻关期间，原则上不得调离或辞

去工作职位。

项目实施过程中，将最终用户意见作为重要考量，通过实地勘察、仿真评测、应用环境检测等方式开展“里程碑”考核，并视考核情况分阶段拨付经费，实施不力的将及时叫停。

项目验收将通过现场验收、用户和第三方测评等方式，在真实应用场景下开展，并充分发挥最终用户作用，以成败论英雄。由于主观不努力等因素导致攻关失败的，将按照有关规定严肃追责，并依规纳入诚信记录。

### 三、榜单任务

#### 1. 三维 CAD 基础几何引擎（共性关键技术类）

研究内容：针对国产三维几何引擎鲁棒性弱、高性能几何约束求解引擎缺失、软件开源不足等问题，研究支持实体模型、网格模型等多种几何模型混合表示方法的软件架构；研究支持大模型的内存管理、异常处理、模型版本管理和全局选项技术；研究面向高精度三维几何建模的高效、稳定的数学算法库；研究混合模型表示的基础几何与拓扑操作；研究高精度曲线曲面求交分类基础算法；研究面向三维几何建模的体素构造方法；研究稳定高效的三维形体布尔运算技术；研究复杂实体偏置、过渡、扫掠、蒙皮、覆盖和局部操作技术；研究大规模三维几何模型高效读写、模型修复算法；研究大规模复杂三维几何模型简化和三维模型轻量化算法；研究支持大规模三维几何模型可视化的精确消隐算法；研究三维几何模型高效离散化算法；研发三维 CAD 几何引擎。

研究支持三维直接建模、装配设计等应用场景的几何系统与约束的图表达方法；研究几何冗余约束的符号判定方法；研究高阶几何约束模型的深度分解方法；研究大规模几何欠约束系统最优恰当求解策略；研发三维几何约束求解引擎。研究三维基础引擎开放开源机制、协同开发和评测方法。

考核指标：突破三维 CAD 基础引擎关键技术  $\geq 10$  项，研发开源三维 CAD 几何引擎；内存管理效率相对 ACIS 或 CGM(2022 版)提高 10%；支持的异常处理类型不少于 ACIS 或 CGM(2022 版)异常处理类型的 90%；数学库功能覆盖率达到 ACIS 或 CGM(2022 版)的 90%，方程求解精度达到  $1e-8$ ；支持直线、圆、螺旋线、样条线、平面、球面、柱面、锥面、圆环面、样条面等求交运算，求交元素精度达到  $1e-8$ （造型尺寸上限为 1 个单位）；支持树状三维几何模型版本管理和引擎内存状态导出；支持基础布尔运算、渐进式布尔运算和模糊布尔运算等 3 种布尔运算；支持构造不少于 30 种常用的基本体素；曲面过渡支持二阶几何连续（G2 连续）；支持偏置、过渡、扫掠、蒙皮、覆盖等造型方法和拉齐、移动、拔模等 3 种局部操作；轻量化格式文件压缩比（轻量化文件大小/原始文件大小） $\leq 10\%$ ；支持 STEP、IGES、ACIS 等 3 种格式三维几何模型的导入导出；支持  $1e-4$  至  $1e-8$  容差范围三维几何模型缝合与修复以及自交修复；支持非均匀有理 B 样条曲面（NURBS）转二次曲面；支持自动识别与简化孔、倒角和过渡等特征。研发三维几何约束求解引擎；支持草图设计、三维

直接建模、装配设计、机构设计等应用场景，二维、三维约束类型均不少于 20 种；高效维护约束图顶点规模不少于 5000 个；二维非变量图形的约束识别正确率不低于 99%；最小恰定域准确率 100%、恰定几何约束计算效率不低于 5000 顶点/秒，其性能与西门子几何约束求解引擎 DCM 相当。制定三维 CAD 基础引擎开放与集成测试标准，支持船舶、航天、电子等领域自主 CAD 软件研发，并进行开发验证；提供代码规范性检查工具、漏洞检测数据库和检测知识库，支持三维 CAD 内核测试环境和评测服务平台建设；获得软件著作权  $\geq 10$  项，制定国家或行业或团体标准  $\geq 10$  项。形成开源软件代码库。

有关说明：配套经费与国拨经费比例不低于 1.5: 1，鼓励地方政府提供配套支持。研发时限为 3 年，立项 1 年和 2 年后开展“里程碑”考核。

榜单金额：不超过 1.1 亿元。

关键词：几何引擎，混合建模，曲面求交，布尔运算，局部操作，数据交换，模型修复

## **2. CAE 通用求解器（共性关键技术类）**

研究内容：针对 CAE 仿真分析中高质量网格划分、高精度数值求解、分析结果数据高质量后处理等问题，研究几何模型导入/清理/修复、高质量/高性能的网格划分、大规模并行网格划分等关键技术；开发三维复杂曲面网格生成、高质量分块结构化四边形网格生成、全自动四面体网格生成、分块结构化六面体网格

生成、自适应动态多层局部加密网格并行生成等算法；研发超大规模有限元可视化的网格剖分引擎。研究面向高效数值计算数据结构 and 大规模数据管理、具有千万量级维数的稀疏对称线性代数方程组和稀疏对称矩阵特征值求解、千万量级设计变量以上大规模非凸优化问题求解的关键技术及其算法；构建高效通用数值计算算法库；研发通用 CAE 求解引擎。研究特征感知及精度可控的海量仿真数据自适应压缩、云图/矢量场/结构形变/时序流场/动画输出等形式的仿真结果高精并行可视化、仿真数据渐进式渲染与 GPU 渲染自动调度、面向谱方法和等几何分析等求解结果的高阶可视化、基于 Web 的大规模仿真数据高效加载与轻量可视化、仿真数据关键特征智能提取、大规模多尺度物理场特征可视交互、可视化结果智能评测等关键技术及算法；研发 CAE 通用后处理工具。研究 CAE 通用求解器开放集成架构，研发涵盖前处理、科学数值计算、后处理的通用 CAE 求解器软件，并在航空航天、汽车、船舶、核、电子等领域展开示范应用。研究基于隐式表达的复杂点阵结构优化设计算法及构件，研发结构优化/显式结构拓扑优化构件。研究面向多介质、多物理场复杂工况的多求解器耦合与多领域求解方法，研发高性能多场/多介质非线性数值模拟构件。

考核指标：突破 CAE 通用求解器关键技术  $\geq 5$  项，研发超大规模有限元可视化的网格剖分引擎工具，支持 IGES/STEP/BRep 等 CAD 软件几何标准格式和 inp/bdf 等通用 CAE 数据格式，并

建立通用前处理中性数据格式；支持二维/三维面单元和体单元的网格生成（含非结构化的三角形网格、四面体网格，结构化的四边形、六边形网格、六面体网格以及附面层棱柱网格）；支持常用材料本构模型；串行四面体生成效率千万单元/百秒；并行四面体生成效率 1 亿单元/百秒；在千核机器上，实现百亿级网格并行生成，并行加速比  $\geq 60\%$ ，网格质量满足项目中开发的国产求解器的计算精度要求；支持复杂几何模型的三角形和四面体的全自动网格生成，直通率 90%，平均网格质量系数 0.95（0.5~1.0 区间占比 95%）。研发 CAE 通用求解引擎工具，形成支持结构、非结构化网格数据内存表达、文件存储、高效内外存交换的数据结构；支持在 X86 和 ARM 多核处理器上运行；千万量级稀疏对称线性代数方程组求解效率与国际主流软件 PARDISO/MUMPS 相当；千万量级稀疏对称矩阵的特征值和特征向量求解速度优于国际主流软件 SLEPc；千万量级设计变量以上大规模非凸优化问题求解效率优于 MMA 等主流算法。研发 CAE 通用后处理工具，提供 Nastran/Abaqus/Ansys/Fluent/StarCCM+ 等至少 5 种主流商业 CAE 求解器结果文件的数据接口；支持 vtk/CGNS 数据格式导入；关键区域变量误差  $\leq 5\%$  的情况下压缩率  $\geq 20\%$ ；支持云图/自适应矢量场/结构形变/时序流场/动画输出等至少 5 种可视化算法，TB 级数据数千核并行可视化；C/S 架构下可支持处理 10 亿级规模的网格数据和结果数据处理；B/S 架构下可支持 100 人并发，原始尺寸 200GB 以上的仿真结果文件加载时间  $\leq 120$  秒；仿真数据关键

特征提取精度  $\geq 90\%$ ，支持至少 3 种上下文感知的交互分析方式。研发通用 CAE 求解器软件，支持全类型非线性分析、支持超大规模有限元可视化的网格剖分引擎、CAE 通用求解引擎和 CAE 通用后处理工具在数据、流程等方面的无缝集成；支持前处理、求解器、后处理等算法持续迭代更新；提供与主流国际 CAE 软件数据格式兼容及二次开发的标准接口。结构优化/显式结构拓扑优化构件支持百万设计变量结构优化灵敏度分析、亿级自由度规模的结构响应分析与拓扑优化。高性能多场多介质非线性数值模拟构件涵盖欧拉、拉格朗日、SPH、拉格朗日-欧拉、拉格朗日-SPH 等求解算法，支持复杂多介质、多物理场问题求解，适配国产 E 级超算，支持万核级并行和十亿级网格计算。获得软件著作权  $\geq 10$  项，制定国家或行业或团体标准  $\geq 5$  项。在我国航空、航天、汽车、核工业、工程机械等行业开展不少于 5 个典型示范应用，实现线性静力、振动、屈曲、瞬响、频响等类型问题的求解，用户数量不少于 10 家，形成汇聚科研院所、CAE 软件公司、工业部门等 100 家单位以上的生态体系。形成开源软件代码库。

有关说明：配套经费与国拨经费比例不低于 1.5: 1，鼓励地方政府提供配套支持。研发时限为 3 年，立项 1 年和 2 年后开展“里程碑”考核。

榜单金额：不超过 7000 万元。

关键词：高质量网格划分，模型离散技术，大规模并行网格生成，线性代数方程组求解，矩阵特征值分析，非凸问题数值优

化，分析数据可视化，智能特征提取，智能评测

### 3. 船舶产品全生命周期数据一体化管理系统(共性关键技术类)

研究内容：针对船舶为典型代表的复杂装备全生命周期各环节软件平台各异、数据标准不统一、信息共享困难等问题，围绕协同设计、协同制造核心业务需求，研究船舶产品为典型代表的复杂装备全生命周期通用信息模型定义技术和面向产品生命周期的软件价值链理论，制定船舶产品全生命周期通用信息模型标准，形成船舶产品全生命周期各领域信息与软件平台通用表达方法和数字化生态资源体系；研究复杂产品数据多维多视图 XBOM 组织与管理、基于 MBSE 的复杂装备上下游一体化产品数据管理方法、三维可视化协同设计 CAD 软件集成、支持跨域协同的多层级多主体控制等技术，研究面向用户的个性化自主开发环境和云服务环境、面向复杂装备的全链路云服务平台技术，研发复杂产品数据多维多视图组织与管理模块、船舶自主 CAD 集成接口、复杂装备产品全生命周期一体化数据管理、复杂装备协同设计成熟度管理等核心组件；突破面向全生命周期的产品数据一体化定义及表达、超大规模产品结构运算、基于上下文的复杂结构三维关联设计等关键技术，开发船舶产品全生命周期数据一体化管理系统，在实船开展工程应用验证。

考核指标：突破船舶为典型代表的复杂装备产品全生命周期数据一体化管理关键技术/方法 $\geq 5$ 项，研发船舶产品全生命周期数据一体化管理系统 1 项，软件系统具备单工程千万级零部件、

十亿级设备间接口数据管理能力；具备业务领域模型驱动的数据建模以及低代码应用功能开发能力；支持总用户数不少于 20000、并发用户数不少于 1000；具备多专业协同设计功能，涵盖船舶结构、管系、电气、舾装等主要专业，支持与船舶行业 CAD 等自主核心工业软件无缝数据集成，支持典型行业上下游一体化协作、实时交互、在线选型等泛在协同设计的三维 CAD 软件集成。具备基于参数的产品设计需求全局追溯管理，支持基于生产制造、质量检验等全生命周期物态传感数据的设计决策优化；实现 2 家骨干船企、两型重点产品的应用验证，产品研制周期缩短 15% 以上；获得软件著作权  $\geq 5$  项，制定船舶产品通用信息模型及相关国家或行业或团体标准  $\geq 5$  项。由中国船舶集团和实船设计建造单位同时提供综合绩效评价的《应用效益分析报告》，并由中国船舶集团负责成果评价。

有关说明：配套经费与国拨经费比例不低于 2: 1，鼓励地方政府提供配套支持。研发时限为 3 年，立项 1 年和 2 年后开展“里程碑”考核。

榜单金额：不超过 3000 万元。

关键词：船舶，产品生命周期，协同管理，数据集成

# “工业软件”重点专项 2023 年度项目申报 指南和榜单形式审查条件要求

申报项目须符合以下形式审查条件要求。

## 1. 推荐程序和填写要求

(1) 由指南规定的推荐单位在规定时间内出具推荐函。

(2) 申报单位同一项目须通过单个推荐单位申报，不得多头申报和重复申报。

(3) 项目申报书（包括预申报书和正式申报书，下同）内容与申报的指南方向相符。

(4) 项目申报书及附件按格式要求填写完整。

## 2. 申报人应具备的资格条件

(1) 项目（课题）负责人应为 1963 年 1 月 1 日以后出生，具有高级职称或博士学位。

(2) 青年科学家项目负责人应具有高级职称或博士学位，男性应为 38 周岁以下（1985 年 1 月 1 日以后出生），女性应为 40 周岁以下（1983 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。

(3) 受聘于内地单位的外籍科学家及港、澳、台地区科学家可作为项目（课题）负责人，全职受聘人员须由内地聘用单位提供全职聘用的有效材料，非全职受聘人员须由双方单位同时提供

聘用的有效材料，并作为项目预申报材料一并提交。

(4) 参与重点专项实施方案或本年度项目指南编制的专家，原则上不能申报该重点专项项目（课题）。

(5) 诚信状况良好，无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。

(6) 中央和地方各级国家机关的公务人员（包括行使科技计划管理职能的其他人员）不得申报项目（课题）。

(7) 项目申报人员满足申报查重要求。

### **3. 申报单位应具备的资格条件**

(1) 在中国大陆境内登记注册的科研院所、高等学校和企业等法人单位。国家机关不得作为申报单位进行申报。

(2) 注册时间在2022年6月30日前。

(3) 诚信状况良好，无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。

### **4. 本重点专项指南规定的其他形式审查条件要求**

(1) “揭榜挂帅”项目（课题）负责人无年龄、学历和职称要求，项目牵头申报和参与单位无注册时间要求。

(2) 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。

**本专项形式审查责任人：张梦月**

## **“增材制造与激光制造”重点专项 2023 年度项目申报指南**

(仅国家科技管理信息系统注册用户登录可见)

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“增材制造与激光制造”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2023 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：到 2025 年，使我国增材制造与激光制造成为主流制造技术之一，总体达到世界一流，基本实现全球领先，在战略新兴产业、新基建、大国重器中发挥不可替代的重大作用。同时，基本实现增材制造与激光制造全产业链主体自主可控，形成系列长板技术和一批颠覆性技术，并汇集为行业整体优势，为一批领军企业奠基强大的国际技术竞争力，高端装备/产品大批进入国际市场，实现大规模产业化应用，在制造业转型升级中发挥核心作用。

2023 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“基础理论和前沿技术、核心功能部件、关键技术与装备、典型应用示范”等 4 个技术方向，按照基础研究、共性关键技术、应用示范三个层面，拟启动 41 项指南任务，拟国拨经费概算 4.31 亿元。其中，围绕单晶高温合金的光束整形激光增材制

造方法、超材料三维成形机制及可控微宏观制备新方法等技术方向，部署青年科学家项目，每个项目 200 万元。围绕复杂型面三维激光智能切割、高深径比玻璃通孔激光高效制造等技术方向，部署科技型中小企业项目，每个项目 200 万元。共性关键技术类项目的配套经费与国拨经费比例不低于 1.5:1。应用示范类项目鼓励产学研用紧密结合，充分发挥地方和市场作用，由企业牵头申报，配套经费与国拨经费比例不低于 2.5:1。

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 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。

青年科学家项目不要求对指南内容全覆盖，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 1985 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1983 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。

科技型中小企业项目要求由科研能力强的科技型中小企业牵头申报。项目下不设课题，项目参加单位（含牵头单位）原则上不超过 2 家，原则上不再组织预算评估，在验收时将对技术指

标完成和成果应用情况进行同步考核。科技型中小企业标准参照科技部、财政部、国家税务总局印发的《科技型中小企业评价法》（国科发政〔2017〕115号）。

## 1 基础理论和前沿技术

### 1.1 多物理场耦合调控的多级有序结构功能体化学激光协同制造（基础研究类）

研究内容：针对骨修复材料的多级有序化设计与制造难题，研究复合材料体系多物理场调控有序化纤维微基元方法；研究光场能量与纤维微基元组装的耦合调控机制；研究多层次结构及其受力条件下动态演化的高分辨观测和建模方法；揭示化学激光协同跨尺度构建技术对力学和生物性能的影响机制；完成仿生骨多级结构功能体制造，并进行验证。

考核指标：建立多物理场耦合调控的多级有序结构功能体调控构建理论模型，实现仿生骨多级结构有序化组装，结构尺度跨越  $0.1\mu\text{m}\sim 100\text{mm}$ ，纤维微基元径向有序度及纤维微基元中聚合物的分子取向度均  $\geq 50\%$ ；建立动态演化的大尺度多层次高分辨三维结构功能分析方法和仿生结构力学设计模型，构件尺寸  $\geq 400\mu\text{m}$ ，空间分辨率  $\leq 30\text{nm}$ ；跨尺度结构功能效应样件力学强度、弹性模量与松质骨匹配，仿生骨与自体骨组织形成矿化骨整合界面的周期  $\leq 3$  周，符合医疗器械生物学评价标准 GB/T 16886 及指导原则。

关键词：多物理场耦合调控，多层次有序结构，微基元，激

光有序化调控，多层次观测与建模

## 1.2 氧调控高强韧金属激光增材制造（基础研究类）

研究内容：针对高强韧铝合金、镍基高温合金、难熔钨合金等难加工金属，探索通过调控氧元素含量及其存在形态提高材料强韧性的理论与方法，揭示激光增材制造过程中氧元素含量及其存在形态对合金成形工艺特性与组织性能的影响机制；建立原子尺度氧序构—显微结构—介观结构—宏观力学性能之间的构效关系；研究氧对激光增材制造熔池热—力行为、冶金行为和包括氧化物强化相在内的多层次显微组织形成的作用规律，多尺度应力应变演变的影响机制，研究熔池内氧元素的原位超快在线检测原理及方法；形成基于氧调控的增材制造金属构件的强韧化机制及形性协同控制方法。

考核指标：建立激光增材制造中氧元素含量及其存在形态对成形材料性能影响的关系模型，形成不少于 3 类激光增材制造专用氧调控高强韧金属材料体系；建立氧及其反应产物原位高效在线检测方法和评估算法，熔池中氧元素原位检测精度  $\leq 5\text{ppm}$ ；建立调控方法，氧含量调控精度优于  $\pm 25\text{ppm}$ ；相对常规控氧环境下激光增材制造构件在延伸率不明显降低的情况下强度、弹性模量等指标提升  $\geq 30\%$ ，或在强度不明显降低的情况下断裂韧性等指标提升  $\geq 30\%$ ；完成不少于 4 类氧调控高强韧金属复杂精密构件的设计与制造，并在航空、航天、核等不少于 3 个领域中得到应用。

关键词：氧调控增材制造，多层次显微组织，难加工金属材料

### 1.3 复杂构件激光固态相变组织精密调控（基础研究类）

研究内容：针对大型钢构件原位表面强韧化需求，研究多热源耦合条件下的大型构件激光固态相变温度场时空演化行为；研究激光固态相变复相组织转变、深度分布等特征及其调控机理与方法；研究复相组织的强韧化机制及疲劳破坏机理，建立其疲劳寿命预测模型；开展应用验证研究。

考核指标：建立激光固态相变三维瞬态温度场、组织场及应力应变场耦合模型；应用于长度 $\geq 6\text{m}$ 或直径 $\geq 3\text{m}$ 的大型钢构件，获得马氏体、珠光体、贝氏体及其复相组织，晶粒度3~10级可调，最大可调深度 $\geq 6\text{mm}$ ；表面硬度一致性偏差 $\leq 2\text{HRC}$ ，处理层深度一致性 $\geq 95\%$ ，表面变形量 $\leq 0.1\text{mm}/1000\text{mm}$ ，表面接触疲劳寿命较处理前提升 $\geq 30\%$ ；在能源动力、轨道交通等领域实现应用验证。

关键词：激光固态相变，组织精密调控，强韧化，接触疲劳

### 1.4 高分子粉末床吸能诱导烧结高速3D打印（基础研究类）

研究内容：围绕交通运输、康复医疗、可穿戴领域装备部件轻质高强和多功能化的重大需求，针对超高分子量聚乙烯等无粘流态刚性高分子和硅橡胶等柔性弹性体材料，开展粉末床吸能诱导选择性烧结高速3D打印新方法研究。研究适用于3D打印的吸能墨水材料和高分子粉体材料；研究吸能诱导选择性烧结成形机制和高分子材料3D打印成形新原理，以及打印精度控制技术；

建立一体化高分子材料粉末床吸能诱导烧结 3D 打印制件综合性能评估体系；研制相关装备。

考核指标：建立外场能量吸收与高分子粉末诱导烧结的成形理论与计算仿真模型；高分子粉末床吸能诱导选择性烧结高速 3D 打印装备：制造效率  $\geq 3000\text{cm}^3/\text{h}$ ，最小打印层厚  $\leq 50\mu\text{m}$ ，最高烧结温度  $\geq 400^\circ\text{C}$ ，成形精度优于  $0.2\text{mm}$ ，结构特征尺寸最小可达  $1\text{mm}$ ；超高分子量聚乙烯、硅橡胶等高性能高分子粉体材料种类  $\geq 5$  种，相应专用墨水种类  $\geq 2$  种；成形件力学性能不低于传统制件的  $60\%$ ；在航空航天、生物医疗和消费品等领域实现应用验证。

关键词：增材制造，粉末床，聚合物，外场能量，选择性烧结

### **1.5 厘米级结构超滑功能表面的激光制造（基础研究类）**

研究内容：针对航空航天器件低摩擦表面的制造需求，研究激光制备单晶石墨过程中时空光场对石墨晶态及其表/界面原子结构的调控机理；研究厘米级无褶皱结构超滑单晶石墨制备机制，建立快速溶碳和非平衡析碳的激光能场驱动理论；发展单晶石墨结构超滑表面的原位制备、石墨图案化结构超滑表面的制造方法，开发厘米级结构超滑器件制造工艺技术。

考核指标：构筑不少于 4 种厘米级图案化结构超滑功能表面，具备可控形状（方台、圆台等）、高度（ $1\sim 200\mu\text{m}$ ）、宽度（ $5\sim 500\mu\text{m}$ ）的单元结构特征，可控周期（ $5\sim 500\mu\text{m}$ ）、密度（单晶石墨表面占比  $10\%\sim 70\%$ ）的阵列分布特征；结构超滑表面面积  $\geq$

20mm×20mm，单晶石墨微区平整度 $\leq 30\text{nm}$ 且无褶皱，摩擦应力 $\leq 0.001\text{MPa}$ ，承载 $\geq 50\text{N}$ （测试速度 $\geq 0.1\text{m/s}$ ）；在航空发动机轴承实现应用验证，润滑系统总重量降低50%以上。

关键词：激光原位生长，激光微图案化，单晶石墨，结构超滑，轴承

### 1.6 太空极端环境金属增材制造（基础研究类）

研究内容：针对太空极端环境下金属构件快速制造的需求，开展适用于太空极端环境的金属增材制造新机理、工艺和装备研究。研究真空和微重力环境下低功耗的金属增材制造熔化和冶金行为，阐明增材制造过程中，真空、微重力条件对金属熔体润湿铺展、凝固行为对成形件尺寸精度与表面粗糙度的影响机制；研究太空极端环境下金属增材制造的形性调控技术，探索钛合金、铝合金、不锈钢等多种材料的成形工艺。

考核指标：实现微重力、真空下的金属增材制造过程仿真分析，建立适用于太空极端环境的金属增材制造润湿铺展和凝固行为模型；研制适用于太空微重力、真空环境的金属增材制造集成化装备1套，可以实现钛合金、铝合金、不锈钢等典型金属构件的增材制造。增材成形设备总功率小于1kW，环境真空度可达到 $10^{-3}\text{Pa}$ 以上，整体装备可承受 $-70^{\circ}\text{C}$ 至 $+100^{\circ}\text{C}$ 温度变化，通过10g加速度测试，零件尺寸不小于 $400\text{mm}\times 400\text{mm}\times 20\text{mm}$ ，成形精度 $\leq 0.5\text{mm}$ ，表面粗糙度 $R_a \leq 15\mu\text{m}$ ，综合力学性能不低于锻件性能的80%，建立相应的太空金属增材制造工艺规范。

关键词：太空增材制造，极端环境，微重力，低功耗增材制造

### **1.7 热功能表界面微纳结构与材料特性一体化超快激光制造（基础研究类）**

研究内容：针对航空航天、能源等重大装备对高性能传导/辐射/转换等热功能的迫切需求，研究超快激光作用下材料表界面能量吸收与传递的时空演化规律，以及热功能表界面形性特征对热功能的耦合影响规律及调控机制；研究超快激光制造工艺对热功能表界面形性特征的影响与作用规律；研发高效、稳定热功能表界面微纳结构—材料特性一体化协同超快激光大面积制备方法 & 关键装置，进行应用验证。

考核指标：形成表界面微纳结构与材料特性对热功能耦合作用模型；超高速并行光参量动态调控装置 1 套：单脉冲加工效率  $\geq 150,000$  单元/秒，光参量动态调节响应时间  $\leq 0.5\mu\text{s}$ ；一体化加工面积  $\geq 300\text{cm}^2$ 。不少于 3 类新型热功能器件：键合温度  $\leq 150^\circ\text{C}$ ，导热率  $\geq 200\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ；热辐射图案化单元特征尺寸覆盖  $300\text{nm}\sim 100\mu\text{m}$ ，热伪装兼容波段  $\geq 3$  且阶数动态连续可调；光热转换膜标准光照水蒸发速率  $\geq 4\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。上述三类器件使用 100 小时后性能衰退  $\leq 2\%$ ，在航空航天、能源等装备中实现应用验证。

关键词：超快激光，热功能表界面，微纳结构，材料特性，一体化制造

### **1.8 多功能跨尺度共形结构协同增材制造技术（基础研究类）**

研究内容：针对航空航天等领域对高性能、高集成度功能构

件的需求，研究增材制造结构整体承载与结构功能区的保形协调机制，以及基底—功能线路一体化增材制造的共形界面形性演化规律；研究表面变曲率复杂结构内腔点阵共形填充及胞元完整性保持算法，多物理场高精高效分析方法，结构—功能匹配的跨尺度结构整体拓扑优化设计方法；研究共形喷墨打印导电路径形貌的精确控制技术，以及多层异质界面强化机理及高可靠性曲面多层电路互联技术。

考核指标：建立增材制造基底与结构功能区的跨尺度结构保形优化设计模型，以及共形喷墨打印导线的线宽控制模型；共形异质材料界面结合强度 $\geq 10\text{MPa}$ ，喷墨打印线宽 $\leq 5\mu\text{m}$ ；复杂结构内腔中实现共形点阵填充，填充的单胞数 $\geq 60$ 万，不完整点阵单元数量 $\leq 0.1\%$ ；激光—喷墨协同增材制造航空航天、交通运输等领域的多功能集成构件 $\geq 2$ 套：最大尺寸不小于 $1.0\text{m}\times 0.6\text{m}\times 0.8\text{m}$ ，相比传统制造方式零件数目减少60%以上、减重 $\geq 30\%$ 、功能集成 $\geq 5$ 种（承载/减振/微波探测/温度感知/应变测量等）。

关键词：协同增材制造，多功能跨尺度结构，拓扑优化保形设计，气溶胶喷墨打印

### **1.9 单晶高温合金的光束整形激光增材制造方法（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：面向单晶高温合金复杂结构制造需求，开展基于光束整形的单晶高温合金激光粉末床熔融新原理及新方法研究。

研究激光束斑形状、能量分布特征对熔池局部凝固条件及杂晶/大角度晶界生成的影响机制；阐明动态选晶机理并发展精确工艺控制技术；建立光束整形与扫描路径相匹配的无缺陷大尺寸单晶高温合金加工策略。

考核指标：光束整形激光粉末床熔融试验装置 1 套，可实现圆形、异形等不少于 3 种束斑形状，高斯/平顶等能量分布，其中平顶能量分布均匀率  $\geq 90\%$ ；无籽晶条件下增材制造无裂纹单晶高温合金试件：单晶体水平幅面  $\geq 5\text{mm}$ ，高度  $\geq 50\text{mm}$ ，致密度  $\geq 99.8\%$ 。

关键词：激光增材制造，粉末床熔融，光束整形，单晶高温合金

### 1.10 超材料三维成形机制及可控微宏观制备新方法（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：研究具有特殊功能的超材料微结构设计方法；研究微结构单元的高精度制造、结构超材料表面涂层、激光诱导刻蚀等技术，以及微结构单元与复杂宏观结构的协同制造技术；研发加工—检测一体的超材料三维制备样机，并实现超材料三维可控宏微观制备技术验证。

考核指标：建立超材料宏微观结构与特殊功能的理论模型，预测精度  $\geq 95\%$ ；研制结构超材料成形—改性一体化制备工艺与装备，实现超强韧、超亲水、吸波等不少于 3 类超材料结构的可控制备，特征幅面  $\geq 10\text{mm}$ ，最小特征精度  $\leq 2\mu\text{m}$ 。

关键词：超材料，微/宏观结构，三维成型，共形制备

### 1.11 消光/自清洁复合功能结构制造技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：面向航空航天领域消光/自清洁复合功能结构制造需求，研究激光制造相位/偏振等多维光学参量调控机制，以及消光/自清洁复合功能结构多尺度演化规律；研究消光/自清洁功能协同增效设计方法、大面积曲面多尺度消光/自清洁复合功能结构的批量一致性制造新方法，开展表征、评价及验证研究。

考核指标：研制三维光场整形模块，能量匀化率（光强标准差/平均光强） $\geq 95\%$ ，具备偏振态整形功能；曲面加工面积 $\geq 800\text{cm}^2$ ；不少于2类典型构件验证：可见光至远红外波段平均消光率 $\geq 98\%$ ，且环境试验（湿热、振动、热循环等）前后平均消光率波动 $< 3\%$ ，污染物残留重量减小 $\geq 80\%$ 。

关键词：消光/自清洁复合功能，三维光场整形

### 1.12 浸入式超声激光复合增材修复技术（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：面向复杂构件高质量增材修复需求，开展丝导超声与激光协同、熔池闭环调控等机理与技术研究，揭示激光沉积成形过程浸入式超声选区等轴化机理；研究丝导超声—激光交互机制下熔池闭环调控方法；研究丝导超声复合激光增材修复工艺下冶金缺陷、显微组织形成及强韧化机理。

考核指标：在不少于3种基体材料沉积态修复区获得完全等

轴晶；丝导超声—激光复合增材修复样机 1 套；修复件变形量  $\leq 80\mu\text{m}/100\text{mm}$ ，高温（ $650^\circ\text{C}$ ）拉伸强度不低于基体材料的 90%。

关键词：浸入式超声，激光复合，增材修复，选区等轴化

## 2 核心功能部件

### 2.1 制造用蓝光半导体激光器（共性关键技术类）

研究内容：研究半导体激光器载流子注入动力学、模式调控及热应力对激光性能的影响机制，开展氮化镓基二极管蓝光激光器的新型外延结构设计、外延生长、器件工艺、失效机理及可靠性研究，突破芯片制备封装、光谱合束、增益调控、大能量关断、系统集成等关键技术，研制制造用高功率蓝光半导体激光器。

考核指标：热沉键合器件综合热导率  $\geq 360\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ；蓝光激光器单管芯片：功率  $\geq 10\text{W}@50\mu\text{m}$  条宽，中心波长处于  $400\text{nm}-500\text{nm}$ ，工作寿命  $\geq 1$  万小时  $@5\text{W}$ ；蓝光激光器光纤耦合模组：输出功率  $\geq 4000\text{W}$ 、中心波长处于  $400\text{nm}\sim 500\text{nm}$ 、光纤芯径  $\leq 200\mu\text{m}$ 、光纤数值孔径  $\leq 0.22$ ，8 小时工作功率稳定性  $\leq 5\%$ ，工作寿命  $\geq 1$  万小时。形成不少于 20 台的销售。

关键词：有色金属加工，激光直写，蓝光激光器，氮化镓

### 2.2 制造用万瓦单模光纤激光器（共性关键技术类）

研究内容：针对制造用光纤激光器的重大需求，探索掺镱光纤的光致暗化机制，开发新型的增益光纤外包层结构，自主研发具有高泵浦光吸收系数和高非线性阈值的新型大模场增益光纤，研究万瓦单模工业光纤激光器及批量稳定性制造技术。研究大功

率高脉冲能量光纤输出激光器所用的增益模块与高功率隔离器关键技术，研究大功率脉冲激光器高效散热、系统集成及激光器整机设计开发技术。研究大功率光纤输出的纳秒级高脉冲能量激光器及批量稳定性制造技术。

考核指标：单模连续工业光纤激光器：平均功率 $\geq 10\text{kW}$ ，光束质量 $M^2 \leq 1.3$ ，输出功率稳定性（8小时）优于 $\pm 2\%$ ，工作寿命 $\geq 10000$ 小时，实现销售 $\geq 50$ 台。光纤输出的纳秒级高脉冲能量激光器：平均功率 $\geq 3000\text{W}$ ，最大单脉冲能量 $\geq 200\text{mJ}$ ，脉宽 $10\text{ns} \sim 100\text{ns}$ ，重复频率 $1\text{kHz} \sim 1\text{MHz}$ ，光束质量 $\text{BPP} \leq 25\text{mm}\cdot\text{mrad}$ ，输出功率稳定性（8小时）优于 $\pm 2\%$ ，工作寿命 $\geq 10000$ 小时，实现销售 $\geq 100$ 台。

关键词：单模，万瓦，光纤输出激光器，工业激光器

### 2.3 五轴振镜激光加工模块与技术（共性关键技术类）

研究内容：研究高响应、高精度振镜电机，研究多轴运动同步控制技术与五轴振镜偏转补偿控制算法，开发光机电集成的五轴扫描振镜加工头；研究五轴振镜光束偏转与平台运动的协同加工技术、锥形结构和微槽微孔的激光加工形性调控技术；研制飞秒激光五轴振镜加工装备与成套工艺。

考核指标：五轴扫描振镜加工头：振镜重复精度 $\leq 2\mu\text{rad}$ ，加工区域直径不小于 $1.5\text{mm}$ ，Z轴方向焦点调节范围不小于 $\pm 1\text{mm}$ ，光束倾角范围不小于 $\pm 8^\circ$ ，旋进频率最大 $350\text{Hz}$ ；飞秒激光五轴振镜加工装备1台：重复精度 $\leq 0.5\mu\text{m}$ ，聚合物锥形结构加工体积

一致性误差 $\leq 10\%$ 、加工面表面粗糙度 $Ra \leq 0.1\mu\text{m}$ ，金属异形微孔锥度范围 $0^\circ$ 至 $-2^\circ$ 、锥度精度 $\leq 0.1^\circ$ （以 $2\text{mm}$ 厚度考核）；实现五轴振镜及加工装备在智能传感、航空航天等领域的应用。

关键词：五轴振镜，激光加工，锥形结构和微槽微孔

#### 2.4 基于大数据的增材制造工艺开发软件平台（共性关键技术类）

研究内容：研究增材制造数据实时接入技术，开发多源异构数据分析技术；建立离网/并网的数据库，开发基于大数据机器学习的增材制造云端智能工艺选择、自主优化及质量控制方法；研究基于增材制造装备全工艺过程的实时运行状态智能识别、自适应闭环调整、故障诊断检测、远程运维等关键技术；开发大数据和信息模型驱动的增材制造工艺优化与质量控制软件。

考核指标：大数据和信息模型驱动的增材制造工艺优化与质量控制软件：涵盖不少于5种金属和非金属增材制造工艺，具有不少于20种接口协议，复杂模型的几何和工艺特征识别及分类时间小于20s，具有云端远程工艺优化功能，同类型工艺一结构首次打印失败率比现有水平降低50%以上，工艺研发效率比现有水平提升2倍以上；在航空、航天、车辆等领域实现应用，建立含不少于2万个制件制造过程及质量信息的数据库；编制数据定义、硬件接口规范、软件接口协议、质量评价等相关技术标准 $\geq 5$ 项，形成团体标准并发布，并立项国家标准1~2项。

关键词：增材制造，大数据，工艺优化

## 2.5 声功能结构定制化设计软件与增材制造（共性关键技术类）

研究内容：面向复杂多约束工业场景下声功能结构制造需求，研究增材制造金属/非金属复合特征结构对声波吸收与散射的声振行为及调控机理、声结构模板自匹配填充算法、大型承载一声控结构增材制造异质界面控制及形性调控等关键技术；研发面向增材制造工艺的声功能结构定制化设计优化软件、增材制造装备；开展声功能结构性能与功能评价及空气与水下环境的应用验证。

考核指标：声结构设计分析与优化一体化软件 1 套，增材制造声结构模板  $\geq 100$  套；大型声结构金属/非金属增材制造装备 1 套：成形声功能结构直径  $\geq 5\text{m}$ 、最小特征尺寸  $\leq 100\mu\text{m}$ ，声控结构表面粗糙度  $\leq 10\mu\text{m}$ ，金属/非金属界面强度系数  $\geq 0.6$ ；增材制造声控结构满足：针对空气介质声控功能构件、吸声系数  $\geq 0.85$ 、工作温度  $\geq 150^\circ\text{C}$ ，针对水下介质声控功能构件、声能透射率  $\leq 0.1$ 、波束宽度  $\leq 15^\circ$ 、耐压  $\geq 0.5\text{MPa}$ ，实现工业装备、水下装备等领域应用。

关键词：声功能结构，定制化设计，金属/非金属增材制造，结构功能一体化

## 3 关键技术与装备

### 3.1 多激光粉末床增材制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向航空航天领域大尺寸复杂精密构件和组件整体化制造重大需求，开展超大幅面铺粉均匀性、成形仓气氛循环

控制等技术研究，攻克超重载运动平衡机构协同控制、20束以上的多激光时序一扫描策略协同控制、多激光成形过程在线质量监控自诊断智能处理等关键技术，研制增材制造装备，建立超大幅面粉末床激光增材制造装备综合性能的评估体系。

考核指标：粉末床激光增材制造装备：成形尺寸不小于1500mm×1500mm×1000mm，成形激光束≥20束，成形精度优于±0.2mm，多激光拼接精度≤0.05mm，各区域成形质量一致性优于5%，成形效率≥500cm<sup>3</sup>/h，采用自主研发控制软件，具备故障分级自诊断及质量在线监控系统，实现打印全程可追溯，设备平均无故障工作时间≥1000小时；成形典型件不少于5种，最大单向尺寸≥1300mm，在航空航天等领域实现应用或验证，制定相关标准≥5项。

关键词：多激光，增材制造，超大尺寸，激光选区熔化

### 3.2 多电子束粉末床增材制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：针对大型难焊高温材料复杂构件的制造需求，开展大功率多电子枪高精度扫描拼接、协同扫描预热与大幅面高温粉末床温度场控制、真空高温环境粉末铺放、在线监测等技术研究，突破粉末床熔融全过程温度和精度保持，热应力控制、裂纹抑制及组织性能一致性控制等关键技术，研制增材制造装备，开发大尺寸难焊高温材料复杂构件低应力增材制造工艺技术。

考核指标：多电子束高温粉末床熔融增材制造装备：电子枪

数量  $\geq 4$  台，全幅面束斑直径差异  $\leq 5\%$ ，成形尺寸  $\geq 800\text{mm} \times 800\text{mm} \times 700\text{mm}$ ，粉末床高温区 ( $\geq 1000^\circ\text{C}$ ) 面积  $\geq 600\text{mm} \times 600\text{mm}$ 、温度不均匀性  $\leq 20^\circ\text{C}$ ，多电子枪拼接精度优于  $\pm 0.15\text{mm}$ ，成形效率  $\geq 300\text{cm}^3/\text{h}$ ，设备平均无故障工作时间  $\geq 1000$  小时；单电子枪功率  $\geq 6\text{kW}$ ，最小束斑直径  $\leq 200\mu\text{m}$ ；实现使役温度  $900^\circ\text{C}$  以上难焊高温合金复杂构件制造，水平尺寸  $\geq 600\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，高度  $\geq 400\text{mm}$ ，成形精度优于  $\pm 0.15\text{mm}/100\text{mm}$ ， $900^\circ\text{C}$  及以上高温持久和疲劳性能相对于同材料铸造件提高  $10\%$ ，并在能源动力、航空航天等领域实现应用或验证。

关键词：多电子枪，高温粉末床，电子束粉末床熔融，难焊高温合金，热裂纹控制

### 3.3 半导体材料激光制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向半导体材料微细结构高精度加工需求，探索激光矢量光场整形作用下的典型半导体材料应力、缺陷演化规律，揭示微细结构制造质量对器件性能的影响机制，攻克矢量光场整形、光束旋转运动空间姿态调控等关键技术，研制半导体材料激光制造装备，开发阵列方形微槽、微流道、材料内部曲面成型切割等 3 类精密制造工艺。

考核指标：光束旋转运动空间姿态调控加工头：加工误差  $\leq 1\mu\text{m}$ ；半导体材料精密制造装备：扫描范围  $\geq 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，运动轴定位精度  $\leq 0.4\mu\text{m}$ ，最小线宽  $\leq 1\mu\text{m}$ ，连续加工阵列微型槽数量  $\geq 8 \times 10^6$  个，相邻位置误差  $\leq 0.5\mu\text{m}$ ，微流道尺寸误差  $\leq 2\mu\text{m}$ ，

透镜成型切割尺寸误差 $\leq\pm 5\mu\text{m}$ ，设备平均无故障工作时间 $\geq 1000$ 小时，实现砷化镓、碳化硅、金刚石等半导体材料精密制造；建立工艺规范和标准，在探测器、高功率激光器、同步辐射光源等设备中实现应用或验证。

关键词：激光微纳制造，空间整形，半导体材料，阵列微结构

### **3.4 高强韧钛合金增材制造技术与装备（共性关键技术类）**

研究内容：开展激光增材制造高强韧钛合金材料设计、激光熔化沉积微区调控、多重固态相变联动调控等技术研究，攻克多束高功率激光大型复杂钛合金构件制造过程内部缺陷抑制和应力控制等关键技术，发展大型钛合金构件抗疲劳与高损伤容限结构设计和制造方法，研制成套激光增材制造装备。

考核指标：大型激光增材制造装备：沉积态壁厚误差优于 $\pm 0.5\text{mm}$ 、构件变形量小于 $3\text{mm}/1000\text{mm}$ ，成形效率不低于 $10\text{kg/h}$ ；设备平均无故障工作时间 $\geq 1500$ 小时；成形的大型复杂构件尺寸 $\geq 1\text{m}\times 1\text{m}\times 5\text{m}$ ，内部缺陷达到锻件超声检测 AAA 级水平，疲劳和裂纹扩展寿命预测误差小于 $10\%$ ；高强韧钛合金断裂韧性不低于 $110\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ，经不少于 3 批次验证，抗拉强度不低于 $920\text{MPa}$ ，多批次抗拉强度变异系数小于 $3\%$ ；在航空航天领域实现应用或验证，制定相关国家、行业或团体技术标准 $\geq 3$ 项。

关键词：钛合金，激光增材制造，高强韧，大型复杂构件

### **3.5 纤维复合材料增材制造技术与装备（共性关键技术类）**

研究内容：针对大型高性能多功能复合材料构件制造需求，

研究基于增材制造的多功能复合材料一体化设计方法；突破宏微观多级界面结合性能梯度调控、短/连续纤维多喷头分区域协同成形、实时监测与打印参数动态优化等关键技术；研制大型短/连续纤维复合增材制造装备。

考核指标：大型短/连续纤维复合增材制造装备：成形尺寸 $\geq 6\text{m}\times 4\text{m}\times 3\text{m}$ ，打印速度 $\geq 1.5\text{m}/\text{min}$ ，制造精度优于 $\pm 0.25\text{mm}/\text{m}$ ；设备平均无故障工作时间 $\geq 1000$ 小时；实现大型多功能复合材料短/连续纤维构件增材制造，单向尺寸 $\geq 5\text{m}$ ，短纤维含量 $\geq 35\text{wt.}\%$ ，连续纤维含量 $\geq 60\text{vol.}\%$ ，层间强度 $\geq 45\text{MPa}$ ；功能复合材料具备自感知、抗冲击、吸波等功能，在无人机/无人艇中实现应用或验证。

关键词：功能复合材料，短/连续纤维，增材制造，无人装备

### 3.6 极薄强韧陶瓷义齿增材制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：针对牙齿缺损微创/无创修复的需求，开展整体强韧、边缘极薄、粘接面具有图案化微结构的陶瓷义齿增材制造方法研究。研究面投影光在增材制造过程的全生命周期传播规律，光传播中冗余杂光的过滤机制，以及光能量传播与陶瓷光固化反应能量的耦合调控方法；研究打印窗、浆料层与固化层的微力分离技术，各向异性极薄陶瓷打印件烧结的非均匀补偿技术；研制陶瓷光固化增材制造样机；开展应用验证研究。

考核指标：建立光传播能量调控与光固化反应能量阈值的耦合分析理论模型；增材制造义齿的最小特征尺寸 $\leq 2\mu\text{m}$ ，最薄壁

区域厚度 $\leq 10\mu\text{m}$ ，最大壁厚差达 200 倍，挠曲强度 $\geq 950\text{MPa}$ ；陶瓷光固化增材制造装备：成形幅面 $\geq 100\text{mm}\times 100\text{mm}$ ，单版 45 颗义齿成形时间 $\leq 8\text{h}$ ；在微创/无创牙齿缺损修复领域实现应用验证，边缘密合度优于 $30\mu\text{m}$ 。

关键词：陶瓷，微立体光固化，极薄义齿，光能量调控

### **3.7 激光微细制孔与异质连接技术与装备（共性关键技术类）**

研究内容：面向航空、航天光学构件一体化制造需求，开展非光学接触异质界面相变过程与等离子体动态调控技术研究，攻克大口径增透构件微群孔的脉冲整形高效率复刻成型、构件位姿与超快激光脉冲的同步控制等关键技术，研制超快激光制孔与连接装备与成套工艺。

考核指标：超快激光制孔与连接的成套装备：加工尺寸范围 $\geq 500\text{mm}\times 500\text{mm}\times 600\text{mm}$ ，增透微结构最小孔径 $\leq 2\mu\text{m}$ ，加工精度 $\leq 1\mu\text{m}$ ，深径比 $\geq 1:1$ ，设备平均无故障工作时间 $\geq 1000$ 小时；实现不少于 3 种材料/结构类型的构件制造：口径 $\geq 150\text{mm}$ ，单个构件加工时间 $\leq 5\text{h}$ ，透射率较基材提升量 $\geq 10\%$ ，异质材料连接强度 $\geq 130\text{MPa}$ ；在航空、航天和光电等领域实现应用或验证。

关键词：超快激光，微群孔，无膜增透，异质连接

### **3.8 功能图案激光还原制造技术与装备（共性关键技术类）**

研究内容：面向超大尺寸介质表面金属功能图案制造需求，开展超快激光诱导金属前驱体还原过程中的光—热—还原过程、时空频协同整形超快激光高效精密还原制造新方法等研究，攻克

介质—金属界面光致物理嵌合/化学键合控制、多机路径规划仿真与协同控制等关键技术;发展视觉协同的动态接触力耦合新策略,用于大幅面、微尺度快速扫描成像;研发多机协同超快激光制造装备。

考核指标:超快激光多机协同制造装备:在幅面 $\geq 1\text{m}\times 50\text{m}$ 的可展收介质表面实现图案微结构制造,微结构尺寸精度优于 $\pm 10\mu\text{m}$ 、单元图案定位精度 $\leq 15\mu\text{m}$ 、拼接精度 $\leq 0.1\text{mm}$ ,单机直写速率 $\geq 1\times 10^8\mu\text{m}^2/\text{s}$ 且还原效能 $\geq 1.5\times 10^6\mu\text{m}^2/(\text{Ws})$ ,设备平均无故障工作时间 $\geq 1000$ 小时;金属图案微结构方阻 $\leq 0.4\Omega/\text{sq}$ ,金属图案—电介质光致结合强度达1级以上(GB/T 9286);在航天领域实现应用或验证。

关键词:光还原,金属图案,介质表面,超大尺寸

### 3.9 热控/减振功能构件增材制造技术与装备(共性关键技术类)

研究内容:面向航天飞行器对“热控/减振/承载”功能结构一体化构件设计与制造技术需求,研究基于宏介观结构梯度分布的力—热多目标轻合金结构优化设计方法,攻克“介观—宏观”跨尺度特征结构的激光模式/束斑尺寸控制、增材制造形性协同调控等关键技术,开展跨尺度功能结构“设计—制造—评价”研究,开发增材制造装备与成套工艺。

考核指标:增材制造装备:微细特征成形精度优于 $0.05\text{mm}$ ,宏观尺寸 $\geq 500\text{mm}\times 500\text{mm}\times 1000\text{mm}$ ;成形强度 $\geq 550\text{MPa}$ ,二维导热强化传热区域温度均匀性优于 $1^\circ\text{C}/200\text{mm}$ ,相比传统结

构减重 $\geq 30\%$ ；可承受载荷 $\geq 30\text{kN}$ ，产生的反冲力 $\leq 45\text{kN}$ ，吸能能力 $\geq 1000\text{J}$ ；宏观膨胀系数 $\leq 0.1\text{ppm/K}$ ，减隔振时域均方根衰减率 $\geq 80\%$ ；在深空探测、载人登月、卫星等航天器结构实现应用或验证。

关键词：跨尺度功能结构，多目标优化设计，增材制造航天器

### 3.10 微细复杂形貌结构激光制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：面向航空航天、高铁等领域仿生部件制造需求，研究激光高速空间光场耦合调控的三维微细起伏形貌结构成形机制，建立“高温脱附、高速减阻、防覆冰”分级仿生功能结构模型，揭示复杂形貌结构制造质量对仿生性能的影响机制；攻克微观结构成形过程在线监测、高速空间光场耦合调控、空间结构分层制造算法等关键技术；研制激光制造装备和成套工艺。

考核指标：微观结构成形过程在线监测模块：时间分辨率优于 $500\text{fs}$ ；高速空间光场耦合调控模块：最大扫描速度 $\geq 10\text{rad/s}$ 、调控精度 $\leq 300\text{nrad}$ ；空间结构分层制造软件；激光制造装备：复杂形貌结构深度起伏范围 $1\sim 500\mu\text{m}$ 、表面曲率变化误差 $\leq 5\%$ 、最大构件尺寸 $\geq 300\text{mm}$ ；设备平均无故障工作时间 $\geq 1000$ 小时；与无表面微结构的构件相比，在不同构件上分别实现高温污染物残留重量减小 $\geq 50\%$ ，阻力系数减少 $\geq 15\%$ ， $-15^\circ\text{C}$ 条件下延迟结冰时间 $\geq 50\%$ ；在航空航天、高铁等领域进行应用或验证。

关键词：激光微纳制造，仿生功能结构，空间结构分割，高速光场调控

### 3.11 仿生异质性组织工程半月板增材制造技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：针对半月板损伤修复的需求，研发仿生异质性组织工程半月板支架设计及增材制造丝径挤出的精确控制方法；研发可降解组织工程支架增材制造过程在线监测及孔隙结构高精度制造技术；研究面向增材制造三维支架的干细胞精确分区接种、生长因子分区释放、模量分区调控和半月板功能重建等仿生异质性半月板构建技术；开展组织工程仿生半月板体外及大动物体内验证和评估，以及半月板支架与干细胞复合移植临床前研究。

考核指标：建立可降解支架材料挤出丝径的控制模型；仿生异质性半月板支架增材制造设备：成形尺寸  $\geq 100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，成形精度  $\leq \pm 20\mu\text{m}$ ，挤出丝径误差  $\leq \pm 20\mu\text{m}$ ；制备出孔隙结构呈非均匀分布的仿生异质性组织工程半月板支架，游离缘—滑膜缘的孔隙率（30%~60%）、孔径（50~500 $\mu\text{m}$ ）分区可调；组织工程半月板植入动物体内 24 周后，游离缘—滑膜缘区域的压缩模量（120~160kPa）、环向拉伸模量（70~120MPa）、径向拉伸模量（25~40MPa）呈分区差异，滑膜缘区域的 I 型胶原相对含量是游离缘的 3~3.5 倍，游离缘区域 II 型胶原相对含量是滑膜缘的 5~5.5 倍；完成研发产品的生物安全性评价、体外评价和大动物临床前评价，软骨保护 ICRS 评分等

级 $\leq$ II, Mankin 评分 $\leq$ 2.5; 制定增材制造仿生半月板支架相关国家、行业或团体技术标准 $\geq$ 2 项。

关键词: 生物 3D 打印, 半月板三维支架, 异质性, 增材制造

### 3.12 激光超声复合精密制造技术与装备(共性关键技术类)

研究内容: 研究超声振动等辅助能场作用下单晶合金、陶瓷基材料等激光高效去除机理, 探索激光能场复合低损伤加工方法, 攻克多参量精确协同调控、轨迹规划、精确导航、在线监/检测等关键技术, 开发激光复合能场自适应加工工艺与装备。

考核指标: 激光复合能场制造 CAM 软件: 具有定位检测与加工导航功能, 可实现复杂三维曲面构件的定位—监/检测—加工一体化; 激光复合能场加工装备 2 套: 平均无故障工作时间 $\geq$ 1000 小时; 微孔深径比 $\geq$ 25:1、最小孔径直径 $\leq$ 0.3mm、孔侧壁粗糙度  $R_a \leq 0.8\mu\text{m}$ , 加工效率优于 3 分钟/孔, 重铸层 $\leq 1\mu\text{m}$ ; 复杂构件表面特征结构加工尺寸精度 $\leq 5\mu\text{m}$ ; 建立相关工艺规范和标准, 在航空航天领域实现应用或验证。

关键词: 激光复合能场, 难加工材料, 复杂构件、精确导航

### 3.13 移动式复杂现场环境增材制造技术与装备(共性关键技术类)

研究内容: 针对高原高寒、南海岛礁、荒漠戈壁等特殊环境下装备现场应急救援、损伤抢修的重大需求, 研究高效率区域打印增材制造形性调控技术, 攻克增材制造微缺陷在线识别与飞秒激光精准去除、应急保障增材制造复杂精细构件的分级评价、高

效率增材制造方舱的强机动性和强环境适应性设计与集成等关键技术，研制增材制造装备和成套工艺，并在特殊极端环境开展增材制造方舱系统的应用或验证。

考核指标：增材制造装备：成形效率相比单激光粉末床熔融提升 10 倍以上(钛合金成形效率  $\geq 1\text{kg/h}$ )，成形精度优于  $0.1\text{mm}$ ，缺陷在线去除精度优于  $50\mu\text{m}$ ，平均无故障时间  $\geq 500$  小时；敏捷方舱：尺寸不大于  $7\text{m}\times 2.5\text{m}\times 2.5\text{m}$ ，重量不大于 6 吨（含成形设备、后处理等），“机动—工作”状态转换时间  $\leq 30$  分钟；形成应急保障增材制造合金体系，零件疲劳寿命不低于锻件的 60%；在航空航天、地面特种装备维护保障实现应用验证，并通过 3500 米以上高原、南海岛礁、高低温（ $-45^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$ ）等环境考核验证。

关键词：应急保障，极高效率，金属增材制造，复杂环境

### **3.14 大尺寸特种陶瓷增材制造技术与装备(共性关键技术类)**

研究内容：研究氧化物、碳化物、氮化物等大尺寸特种陶瓷构件增材制造的材料组分—工艺—微结构—性能一体化设计方法；攻克高粘稠材料光固化及实时清理等多工艺复合成形关键技术，研制增材制造装备与成套工艺；建立多层、复杂内腔构件的三维结构特征尺寸精度检测方法及评价标准。

考核指标：特种陶瓷制造装备：成形尺寸不小于  $1000\text{mm}\times 1000\text{mm}\times 500\text{mm}$ ，固化效率不小于  $0.5\text{m}^2/\text{min}$ ，多层陶瓷构件产品层数  $\geq 3$ ，最小壁厚  $\leq 800\mu\text{m}$ ，最小孔径  $\leq 150\mu\text{m}$ ，表面粗糙度  $R_a \leq 3\mu\text{m}$ ，尺寸精度优于  $\pm 0.15\text{mm}$ ，陶瓷构件三维测量

精度优于  $10\mu\text{m}$ ，平均无故障工作时间  $\geq 1000$  小时；成形件高温变形量  $\leq 0.5\%$  ( $1650^\circ\text{C}$ )，断裂韧性  $\geq 10\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ，韦伯模数  $\geq 10$ ；实现大型复杂特种陶瓷构件的制造，最大尺寸  $\geq 1000\text{mm}$ ，在航空、航天、能源化工等领域实现应用或验证，制定相关国家、行业或团体技术标准  $\geq 5$  项。

关键词：大尺寸，特种陶瓷，增材制造，工艺复合

### 3.15 同质/异质铝合金复合材料构件激光智能焊接技术与装备（共性关键技术类）

研究内容：针对大型铝基合金同质/异质构件焊接难题，研究大尺寸中厚壁铝基复合材料的焊缝增强相颗粒分布控制及匀化技术；攻克多源信号监测—分析—融合—处理的关键技术；开发反馈调节激光能量与填料送入量的一体化智能调控系统；研究基于智能化能—质协同控制的大尺寸中厚壁金属基复合材料接头性能保障技术；建立基于大数据的母材—焊缝焊后一体化处理策略；研发同质/异质构件焊接装备与成套工艺。

考核指标：激光智能焊接装备：实现同质结构、异质结构的高强铝合金复合材料智能化焊接，焊件尺寸  $\geq 1\text{m}$ ，熔深  $\geq 8\text{mm}$  时，接头气孔尺寸  $\leq 0.2\text{mm}$ ，无焊接裂纹，设备平均无故障工作时间  $\geq 1000$  小时；铝基复材同质结构接头弹性模量  $\geq 90\text{GPa}$ 、接头强度  $\geq 350\text{MPa}$ ；铝基复材—铝合金异质结构接头弹性模量  $\geq 80\text{GPa}$ 、接头强度  $\geq 300\text{MPa}$ ；接头延伸率均  $\geq 4\%$ ；相比其他方式，综合制造效能提升  $\geq 30\%$ ；在航空航天、汽车领域实现应

用或验证。

关键词：铝基复合材料，激光焊接

## 4 典型应用示范

### 4.1 激光剥片/减薄技术在电子制造领域的应用示范（应用示范类）

研究内容：面向第三代半导体晶锭、晶圆高效高精度剥片/减薄加工需求，研究碳化硅等晶体材料激光诱导改质层区域裂纹扩展机制及形成规律；攻克像差校正的空间整形、内部高速切割与同步控制、分片等关键技术；开发涵盖化学机械研磨的高质量、低损伤成套制造工艺；研制激光剥片/减薄制造装备。

考核指标：内部高速切割与同步控制模块：扫描位置精度 $\leq 1\mu\text{m}$ ；激光剥片/减薄制造装备：最大加工直径 $\geq 200\text{mm}$ （碳化硅），最薄剥片/减薄厚度 $\leq 100\mu\text{m}$ （碳化硅），晶圆总厚度偏差 $\leq 20\mu\text{m}$ （研磨前），单片材料总损耗 $< 80\mu\text{m}$ （研磨后），效率 $\leq 10$ 分钟/片（150mm），设备平均无故障工作时间 $\geq 1000$ 小时；在电子制造领域实现示范应用。

有关说明：由企业牵头申报。亮点：实现第三代半导体晶锭剥片效率提升3倍、切口材料耗损降低大于60%，晶圆产出增加30%。考核方式：分别采用激光和线锯，在生产线上对150mm直径（6寸）、20mm厚碳化硅晶锭进行剥片测试，对比剥片效率、材料耗损和晶圆产出。

关键词：激光剥片，减薄，晶锭，晶圆

## 4.2 航天发动机大尺寸薄壁整体构件增材制造应用示范（应用示范类）

研究内容：针对航天固体、液体、冲压发动机对高性能大型复杂构件的整体制造需求，开展大型弱刚度多筋构件轻量化设计及激光增材制造技术示范应用研究，攻克弱刚度约束条件下增材制造和后处理整体构件组织性能控制，构件抗变形结构优化、成形过程应力控制等关键技术，开发弱刚度多筋构件的质量评价与考核验证技术。

考核指标：一体化制造零件尺寸最大直径 $\geq 1000\text{mm}$ ，最小壁厚 $\leq 1.5\text{mm}$ ，最大变形量 $\leq 1.5\text{mm}$ ，非加工表面粗糙度 $R_a \leq 3.2\mu\text{m}$ ；相比传统制造工艺，增材制造构件一体化设计和制造后，零件数量减少 $\geq 30\%$ ，结构刚度提升 $\geq 30\%$ ，减重 $\geq 20\%$ ，制造周期缩短 $\geq 50\%$ ，成本降低 $\geq 30\%$ ；构件力学性能达到同牌号锻/铸件标准，力学性能离散度 $\leq 5\%$ ；形成航天领域增材制造设计、加工、检测标准规范不少于10项；并在5种以上航天动力装备构件制造上实现应用示范，不少于2种通过热试车考核。

有关说明：由企业牵头申报。亮点：实现尺寸大于1米的航天发动机高性能大型弱刚度复杂构件的高精度整体制造。考核方式：选取航天发动机1米以上典型构件进行优化设计和制造，分别采用传统制造方式和增材制造方式进行制造工艺设计，并采用增材制造对典型零件进行制造，对比零件全流程制造完成后，采用传统制造和增材制造流程所制造的零件重量、数量、制造周期、

制造成本差异，对零件性能进行测试评价，按照装机要求进行零件力学性能考核测试。

关键词：航天动力装备，增材制造，弱刚度复杂构件

### 4.3 面向快速换产的复杂功能构件规模化增材制造应用示范 (应用示范类)

研究内容：针对航天航空等领域高端装备对功能构件多品种、变批量、短周期规模化增材制造的迫切需求，攻克成形过程多参量检测与调控、功能构件快速响应批产工艺优化、柔性成形舱设计等关键技术，研制面向规模化生产的定制化增材制造设备，构建面向规模化快速响应生产的高柔性分布式智能生产网络。

考核指标：批量制造的航天航空功能结构产品构型种类 $\geq 15$ 类，不少于5类产品通过装机考核，不少于1类产品经过飞行试验验证，产品装机数量 $\geq 1000$ 件；相比传统工艺，工艺开发时间缩短 $\geq 50\%$ ，制造效率提升 $\geq 50\%$ ，粉末利用率提升 $\geq 30\%$ ；定制化增材制造设备：构件力学性能偏离度 $\leq 3\%$ ，尺寸偏差波动 $\leq 10\%$ ，不同零件换产时间 $\leq 2\text{h}$ ，平均无故障运行时间 $\geq 2000\text{h}$ ；分布式智能生产网络节点数量 $\geq 3$ 个，包含增材制造设备数量 $\geq 50$ 台。

有关说明：由企业牵头申报。亮点：建立国内首个分布式功能结构一体化零件增材制造生产线。考核方式：选取航天航空飞行器典型关键功能结构零件进行考核测试，按照批产要求进行批量化制造，与传统小批量制造进行对比，对比工艺开发时间、零

件制造效率、力学性能偏离度、尺寸偏差波动等；采用 5 类典型构件，在建立的智能生产线上进行功能结构零件换产时间考核。

关键词：增材制造，快速响应，规模化，功能结构

#### 4.4 激光熔锻原位修复应用示范（应用示范类）

研究内容：面向军民用重大装备不可拆卸结构的现场高性能修复需求，研究原位激光熔锻修复层组织、缺陷和应力的控制方法，开展复杂环境双激光联动、激光熔覆沉积与冲击强化工艺匹配优化、原位修复结构应力重构与疲劳寿命评估等技术研究，研制移动式激光熔锻修复装备。

考核指标：移动式激光熔锻原位修复装备：双激光现场光纤传输距离  $\geq 20\text{m}$ ，修复效率  $\geq 300\text{cm}^3/\text{h}$ ，设备现场展开时间  $\leq 2\text{h}$ ，平均无故障工作时间  $\geq 1000\text{h}$ ；钛合金、合金钢等修复件的表面最大残余压应力  $\geq$  屈服强度的 30%，与常规单一激光熔覆修复相比，疲劳寿命提升  $\geq 30\%$ ；修复件应力重构误差  $\leq 20\%$ ，疲劳寿命预测误差在 2 倍分散带以内；在航空航天、能源动力领域现场原位修复实现应用示范。

有关说明：由企业牵头申报。亮点：研制移动式激光熔锻原位修复装备，实现航空航天、能源动力领域不可拆卸或难拆卸构件的现场原位修复。考核方式：在机场对飞机机体内的构件进行不拆卸修复，在外场对石油化工管道进行不拆卸修复，考核修复效率和设备现场展开时间，修复后，将零件拆卸，对修复区域的疲劳寿命进行考核。

关键词：激光熔锻，抗疲劳，寿命评估，不可拆结构原位修复

#### 4.5 高适配人工膝关节增材制造应用示范（应用示范类）

研究内容：面向人口老龄化加剧以及患者对膝关节置换的需求，研究基于 CT 和磁共振多模态融合的个性化人工膝关节 AI 辅助快速设计、产品与手术快速虚拟验证等技术，开发高适配人工膝关节增材制造组织强韧化调控与评价技术，开展手术中关节适配性、覆盖率、下肢力线及关节功能等医工交互验证。

考核指标：增材制造高适配人工膝关节在临床应用中的切骨面覆盖率  $\geq 95\%$ ，股骨和胫骨假体延伸率  $\geq 18\%$ ，通过 1000 万次 10 赫兹  $\geq 4000\text{N}$  加载的疲劳测试；个性化高适配人工膝关节手术  $\geq 300$  例、标准全膝置换对照  $\geq 300$  例；发布个性化全膝置换临床路径、诊疗专家共识、手术操作规范、快速康复专家共识；面向增材制造的 AI 辅助快速产品设计、产品和手术虚拟验证软件；制定激光增材制造工艺、个性化人工膝关节设计、临床医工交互验证标准  $\geq 5$  项；增材制造高适配人工膝关节获三类医疗器械注册证。

有关说明：由企业牵头申报。亮点：增材制造个性化高适配人工膝关节获三类医疗器械注册证，并实现批量临床手术应用。考核方式：选取典型膝关节治疗病例，进行高适配人工膝关节增材制造，对制造假体进行力学性能测试；通过病历报告，临床手

术报告对临床手术应用进行考核验证。

关键词：增材制造，全膝人工关节，AI 辅助决策

#### **4.6 复杂型面三维激光智能切割（应用示范类，科技型中小企业项目）**

研究内容：面向复杂型面车身覆盖件精密切割需求，开展切割误差产生机理和控制方法研究，攻克新型 8 轴结构设计和运动轨迹控制等关键技术，研发三维光纤激光切割头及专用控制系统，研制适用于复杂型面汽车结构件的三维激光切割装备。

考核指标：新型 8 轴联动（3+2+1+2）三维光纤激光切割装备：单机工作范围  $\geq 6000\text{mm} \times 1500\text{mm} \times 700\text{mm}$ ，移动轴定位精度  $\leq 0.06\text{mm}$ 、速度  $\geq 110\text{m/min}$ ，旋转轴定位精度  $\leq 0.02^\circ$ 、速度  $\geq 90\text{r/min}$ ，切割尺寸精度  $\leq 0.06\text{mm}/100\text{mm}$ ，切口表面粗糙度  $Ra \leq 6.3\mu\text{m}$ ，设备平均无故障工作时间  $\geq 1000\text{h}$ ；应用于复杂型面车身覆盖件精密切割。

关键词：三维激光切割，复杂型面切割，车身覆盖件，运动轨迹控制

#### **4.7 高深径比玻璃通孔激光高效制造技术（应用示范类，科技型中小企业项目）**

研究内容：面向电子制造和医疗领域中器件和微系统研制对小直径、高深径比、高质量玻璃通孔的高效率制造需求，研究超快激光诱导玻璃改性、变性区域选择性化学刻蚀等方法；开发超快激光微孔加工时空整形功能模块；研制基于飞秒激光诱导变性

的玻璃、微晶玻璃微孔刻蚀工艺与装备。

考核指标：超快时空整形、在线监测与同轴对焦等 2 类关键模块；超快激光诱导玻璃刻蚀微孔装备：可制备圆、方孔和不规则形状的高密度微孔，最大深径比  $\geq 100:1$ ，最小孔径  $\leq 5\mu\text{m}$ ，锥度  $0.1^\circ\sim 30^\circ$  可控；加工效率  $\geq 5000$  孔/秒；应用于电子制造或医疗领域，销售数量  $\geq 20$  台。

关键词：激光诱导，选择性蚀刻，玻璃通孔，三维封装

#### **4.8 飞秒激光加工超高温光纤压力传感器（应用示范类，科技型中小企业项目）**

研究内容：面向高性能超高温压力传感器的制造需求，开展超高温蓝宝石光纤微腔、微膜、微表面等的飞秒激光加工研究，攻克飞秒激光加工在线成型和批量加工关键技术，开展飞秒激光加工超高温压力传感器综合性能评估研究。

考核指标：光纤微腔、微膜、微表面的加工尺寸精度优于  $1\mu\text{m}$ 、表面粗糙度优于  $\text{Ra}0.1\mu\text{m}$ ；光纤压力传感器：压力量程  $0\sim 30\text{MPa}$ ，准确度  $2\%\text{FS}$ ，耐加速度冲击大于  $40\text{g}$ ；在航空、航天、航海、新能源等领域实现应用。

关键词：飞秒激光，难加工材料，压力传感器，超高温

#### **4.9 无支撑粉末床增材制造技术（应用示范类，科技型中小企业项目）**

研究内容：针对传统激光粉末床熔融增材制造在具有空腔和悬空结构的零件制造时存在辅助支撑结构多、后处理工艺复杂等

问题，研究低应力、无支撑结构的金属激光粉末床熔融增材制造技术；研究铺粉过程对成形构件姿态的影响机制、小角度下表面和悬垂面成形控制技术，发展无支撑增材制造的质量控制技术；研制无支撑激光粉末床熔融增材制造装备和成套工艺。

考核指标：无支撑激光粉末床熔融增材制造装备：实现不小于  $200\text{mm}\times 200\text{mm}\times 200\text{mm}$  复杂结构零件制造，成形精度  $\leq \pm 0.1\text{mm}$ ；无支撑制造下表面与水平面夹角  $\leq 10^\circ$ ，表面粗糙度  $R_a \leq 6.3\mu\text{m}$ ；应用于航空或航天等领域。

关键词：粉末床熔融，无支撑，下垂面成形，热应力控制

## **“增材制造与激光制造”重点专项 2023年度项目申报指南形式审查条件要求**

申报项目须符合以下形式审查条件要求。

### **1. 推荐程序和填写要求**

(1) 由指南规定的推荐单位在规定时间内出具推荐函。

(2) 申报单位同一项目须通过单个推荐单位申报，不得多头申报和重复申报。

(3) 项目申报书（包括预申报书和正式申报书，下同）内容与申报的指南方向相符。

(4) 项目申报书及附件按格式要求填写完整。

### **2. 申报人应具备的资格条件**

(1) 项目（课题）负责人应为1963年1月1日以后出生，具有高级职称或博士学位。

(2) 青年科学家项目负责人应具有高级职称或博士学位，男性应为38周岁以下（1985年1月1日以后出生），女性应为40周岁以下（1983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。

(3) 受聘于内地单位的外籍科学家及港、澳、台地区科学家可作为项目（课题）负责人，全职受聘人员须由内地聘用单位提供全职聘用的有效材料，非全职受聘人员须由双方单位同时提供

聘用的有效材料，并作为项目预申报材料一并提交。

(4) 参与重点专项实施方案或本年度项目指南编制的专家，原则上不能申报该重点专项项目（课题）。

(5) 诚信状况良好，无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。

(6) 中央和地方各级国家机关的公务人员（包括行使科技计划管理职能的其他人员）不得申报项目（课题）。

(7) 项目申报人员满足申报查重要求。

### **3. 申报单位应具备的资格条件**

(1) 在中国大陆境内登记注册的科研院所、高等学校和企业等法人单位。国家机关不得作为申报单位进行申报。

(2) 注册时间在2022年6月30日前。

(3) 诚信状况良好，无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。

### **4. 本重点专项指南规定的其他形式审查条件要求**

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。

**本专项形式审查责任人：陈智立**

## **“智能机器人”重点专项 2023 年度项目 申报指南及“揭榜挂帅”榜单**

(仅国家科技管理信息系统注册用户登录可见)

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“智能机器人”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2023 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：构建适合我国国情的智能机器人技术体系，推动技术与产品持续创新；实现产业链高级化、产品与系统应用高端化，推动我国机器人技术与产业高质量发展；支撑国民经济主战场、国家重大需求、人民生命健康等相关行业/领域自主发展。

2023 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕核心零部件与算法、工业机器人、服务机器人、特种机器人等 4 个技术方向，按照基础研究、共性关键技术和应用示范三个层面，拟启动 30 项指南任务，拟安排国拨经费 3.29 亿元。其中，围绕核心零部件与算法、服务机器人、特种机器人，部署青年科学家项目，每个项目 200 万元。共性关键技术类项目配套经费与国拨经费比例不低于 1.5:1。应用示范类项目由企业牵头申报，配套经费与国拨经费比例不低于 2.5:1。

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 1 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。

青年科学家项目不要求对指南内容全覆盖，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 1985 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1983 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。

## **1 核心零部件与算法**

### **1.1 机器人系统参数在线辨识与动力学建模（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：针对机器人参数辨识精度不高、动力学模型不准的问题，研究机器人关键参数高精度离线辨识、变负载参数快速精准在线辨识、机器人刚柔耦合系统的动力学建模与数值计算方法，建立参数化模型体系。在国产高端机器人典型场景实现应用验证。

考核指标：建立机器人参数在线辨识与动力学建模的新方法，并开发软件。机器人系统质心与惯量辨识误差 $\leq 2\%$ ，关节摩

擦力矩辨识误差 $\leq 5\%$ 。对不少于5种工业机器人实现应用验证。整体技术就绪等级 $\geq 4$ 级，受理/授权不少于5项发明专利。

有关说明：拟支持项目数2项。

关键词：参数辨识，动力学建模

## 1.2 机器人关节驱控一体化芯片（共性关键技术类）

研究内容：针对机器人关节对底层伺服驱控自主专用芯片需求，研究多功能高集成芯片和复杂数模混合设计、抗共模干扰、多模冗余备份、机器人感知信息获取和高精度数字/模拟信号SOC集成、内部固化机器人伺服驱动专用控制算法等技术；开发高性能机器人模块化关节驱控一体化芯片，在工业机器人、服务机器人中实现规模化应用。

考核指标：开发高安全性的机器人关节驱控一体化专用芯片。芯片主频 $\geq 168\text{MHz}$ ，FLASH $\geq 512\text{KB}$ ，静态随机存取存储器（SRAM）缓存 $\geq 128\text{KB}$ ；支持3相电机预驱动，支持FD-CAN和EtherCAT总线，模块内部集成电源管理模块。ADC总信号路数不少于6路，其中至少有2组（每组至少2路信号）实现ADC的同步采样，非同步误差小于 $0.1\mu\text{s}$ ；芯片内置矢量控制、数字比例积分微分（PID）控制等伺服控制算法不少于2种，闭环控制频率 $\geq 10\text{kHz}$ ；支持无刷直流电机/永磁同步电机等电机类型不少于2类；实现机器人专用控制芯片在工业机器人、服务机器人中的规模化应用，项目执行期内销量不少于20000片，实现不少于3000台国产机器人应用。整体技术就绪等级 $\geq 7$ 级，受理/授权不

少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：机器人专用控制芯片，驱控一体化

### 1.3 机器人控制器专用芯片研发与应用（共性关键技术类）

研究内容：面向机器人实时闭环反馈低延时高稳定高集成化的需求，研究“感—算—控”一体化机器人专用芯片架构与专用指令集、规划决策和多轴多通道运动控制的 IP 模块、硬实时高精度闭环反馈专用电路、内核接口函数与芯片硬实时驱动算法的融合集成等技术；研发机器人系统硬实时运动控制专用芯片，并在多轴联动的机器人高实时控制系统中得到规模化应用。

考核指标：开发机器人专用控制芯片及运动控制硬件 IP 算法库，实现多通道/多轴机器人运动规划与实时控制；具有位置传感器、力矩传感器、视觉传感器等多模态感知模块，感知精度  $\leq 20\text{bits}$ ；运动控制反馈响应时间的抖动偏差  $\leq 0.2\mu\text{s}$ ；伺服实时闭环控制时间  $\leq 20\mu\text{s}$ ；具有不少于 4 台标准机器人的 6+3 轴运动反馈同步控制能力，机器人控制实时反馈响应时间  $\leq 200\mu\text{s}$ ；可自适应支持 5 种品类的电机（无刷直流电机、永磁同步电机、异步电机、步进电机、磁阻电机），实现多厂家电机的应用；项目执行期内销量不少于 20000 片，实现不少于 3000 台国产机器人应用；整体技术就绪等级  $\geq 7$  级，受理/授权不少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：内核芯片，硬实时控制

#### 1.4 机器人准双曲面齿轮传动减速器（共性关键技术类）

研究内容：针对机器人对高刚度、高精度和轻量化设计的需求，研究高精度高减速比准双齿轮啮合理论、齿廓修形技术、运动特性与动态特性仿真技术、批量化制造与装配工艺技术；研制准双曲面齿轮传动减速器，在机器人中实现规模化推广应用。

考核指标：研制3款高精度、高减速比准双曲面齿轮传动减速器；力矩覆盖  $100\text{N}\cdot\text{m}\sim 600\text{N}\cdot\text{m}$ ，传动比  $\geq 10$ ；单关节传动误差  $\leq 1$  弧分，齿轮齿隙  $\leq 0.01\text{mm}$ ，传动效率  $\geq 87\%$ ，精度寿命  $\geq 10000\text{h}$ ；项目执行期内实现不少于3000台机器人应用。制定国家、行业或相关团体标准  $\geq 1$  项。整体技术就绪等级  $\geq 7$  级，受理/授权不少于5项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：准双曲面齿轮，啮合理论，齿廓修形

#### 1.5 机器人智能谐波减速器（共性关键技术类）

研究内容：针对机器人对力矩感知、实时故障状态监测智能减速器的需求，研究MEMS传感器在减速器上的原位集成设计与制造技术、减速器动态性能参数辨识及动态啮合性能优化技术、实时多维度数据分析和状态预测算法；形成智能减速器的设计、制造、试验等技术规范，研制机器人智能减速器，开展规模化应用。

考核指标：研发智能减速器产品，具备力矩自感知功能，并实现振动监测、温度感知、健康状态预测等不少于3种以上功能；减速器的输出负载和力矩测量范围  $\geq 200\text{N}\cdot\text{m}$ ；减速器的传动精度

≤40 角秒；力矩测量精度 ≤±0.5% F.S.，非线性 ≤±0.5% F.S.；减速器额定寿命 ≥10000h，寿命期间 K1 刚度下降 ≤50%；项目执行期内累计实现不少于 2000 台国产机器人应用。制定国家、行业或相关团体标准 ≥1 项。整体技术就绪等级 ≥7 级，受理/授权不少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：减速器，力矩传感，状态监测

### **1.6 多异构机器人自主协同探测技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对地下非结构化不规则空间高效环境探测中存在的卫星信号拒止、机器人行动能力受限、精密控制难度大等问题，研究信息拒止条件下的仿生自组网、非结构化立体环境机器人自主定位与无缝导航、精密运动控制与分布式协同优化策略、基于空地异构机器人自主协同的立体空间构建、高动态立体路径规划与重构、被测目标周边环境融合感知与精准探测等关键技术；形成适用于地下非结构化不规则空间的多异构机器人自主协同探测系统，并针对典型场景开展验证与应用。

考核指标：形成非结构化立体环境多异构机器人自主协同探测系统；支持不少于 3 类 10 台空地异构机器人自主协同作业；动态条件下机器人绝对定位精度 ≤5cm；空地异构机器人相对定位精度 ≤10cm，协同编队位置误差 ≤20cm；100m<sup>2</sup> 范围内环境建图精度 ≤5cm，协同探测时间 ≤1min，被测目标识别率 ≥95%；在不小于 50000 m<sup>2</sup> 城市地下管廊等非规则空间开展应用验证。整

体技术就绪等级 $\geq 6$ 级，受理/授权不少于5项发明专利。

关键词：非结构化立体环境，空地异构机器人，协同探测

### **1.7 机器人工艺知识图谱生成与离线编程软件平台（共性关键技术类）**

研究内容：针对工业机器人工艺种类繁多、流程复杂阻碍敏捷应用的问题，研究基于工艺数据的知识抽取与建模、基于工艺规则的知识图谱生成、基于知识图谱的工艺规划、面向多种工艺的复杂曲面机器人路径规划、基于工艺约束和动力学优化的机器人参数优化、支持多种国产机器人语言的后置处理与输出等关键技术；建立工艺知识图谱生成与离线编程软件平台，并针对典型任务开展推广应用。

考核指标：建立机器人工艺知识图谱生成与离线编程软件平台，支持焊接、磨抛、喷涂、激光加工等不少于4种工艺的知识图谱生成与离线编程，上述工艺推荐参数准确率 $>90\%$ ，工艺可实现性 $>80\%$ ；离线编程程序在线修正量 $<10\%$ ，工艺仿真准确率 $>90\%$ ；支持不少于4家国产厂商的6款以上机器人系统；不少于20家工业机器人集成商应用。整体技术就绪等级 $\geq 6$ 级，受理/授权不少于5项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：工艺知识图谱生成，离线编程，机器人动力学

### **1.8 机器人人机交互安全与试验验证（共性关键技术类）**

研究内容：针对非医用协作机器人和外骨骼机器人人机交互

安全测试评定缺失的问题，研究生物力学约束下机器人人机交互与协作的安全性测评、机器人与人体紧密交互下运动跟随、静动态约束的安全性测评、复杂应用场景和工况下机器人系统的交互安全准则和评估模型等关键技术；研制人机交互安全性测试验证平台，开展应用验证。

考核指标：建立非医用机器人人机交互安全测评体系，形成评价指标和评价方法，构建机器人人机交互安全测试评估系统；协作机器人人机交互安全测试系统技术指标：碰撞力测量精度 $\leq 0.5\text{N}$ ，停止距离测量分辨率 $\leq 0.5\text{mm}$ ，最大碰撞压力测量 $\geq 600\text{N}/\text{cm}^2$ ，并具备压力分布测量功能；外骨骼机器人人机交互安全测试系统技术指标：阻力测量精度 $\leq 0.5\text{N}$ ，压力测量精度 $\leq 0.5\text{N}$ ，运动位移测量分辨率 $\leq 0.1\text{mm}$ ；制定国家、行业或相关团体评测规范 $\geq 2$ 项。整体技术就绪等级 $\geq 6$ 级，受理/授权不少于5项发明专利。

关键词：安全，测试方法，测试平台

## 2 工业机器人

### 2.1 驱动感知一体化软体机器人设计理论（基础研究类）

研究内容：从软体结构新原理与新技术的前沿科学研究出发，研究对环境有适应能力的软体机器人基础理论，探索软体结构变形致动机理与连续变刚度机制，形成极端环境与复杂任务下软体结构变形适应与驱动感知一体化设计方法。研制适应环境与任务的软体机器人原理样机，结合典型应用需求开展实验验证。

考核指标：攻克软体结构相关新原理、新技术和新方法，开发不少于2种基于软体结构功能驱动单元，研制驱动感知一体化软体机器人样机，驱动变形 $\geq 20\%$ ，刚度连续变化比值 $\geq 3$ 倍，感知精度 $\leq 5\%$ ，完成不少于2种典型场景作业任务，并在模拟环境下进行验证。至少有2项先进前沿技术实现首创或达到同类技术的国际先进水平，并提供佐证材料。整体技术就绪等级 $\geq 6$ 级；受理/授权不少于5项发明专利。

关键词：软体机器人，驱动感知一体化，连续变刚度

## 2.2 多机器人协同制造中的自主智能与群智涌现（基础研究类）

研究内容：面向机器人自主智能与群智涌现的学术前沿，探索机器人自感知、自学习、自适应机制，研究高效连接外部环境、传感系统、控制系统、执行末端的自主智能闭环技术；探索多机器人群智涌现与反馈机制，研究自组织协同规划技术；探索多机器人通用智能演绎、群体协同进化与智慧共生机制，研究安全可靠的自学习进化作业技术；研制自主智能机器人与群智涌现集群系统。面向多机器人协同制造典型任务开展实验验证。

考核指标：提出机器人自主智能与群智涌现相关理论与方法，研制不少于2类自主作业智能机器人试验样机，构建不少于2类群智涌现机器人集群系统，在多机器人协同装配、打磨等不少于2种智能制造典型场景中进行技术验证；每个场景机器人节点数 $\geq 8$ ，单任务调度决策时间 $\leq 1s$ ，可实现3类以上任务的知识

迁移与进化学习;并结合典型场景任务建立相应的考核指标体系;整体技术就绪等级 $\geq 4$ 级。至少有2项先进前沿技术实现首创或达到国际领先水平,并提供佐证材料;受理/授权不少于5项发明专利。

关键词: 自主智能, 群智涌现, 协同制造

### 2.3 动态非结构环境下机器人自然交互与共融协作(基础研究类)

研究内容: 面向机器人自然交互与共融协作的学术前沿,揭示动态非结构环境下以人为中心的人-机-物交互作用机理,研究表情/语音/手势等视-听-触多模交互信息融合、人类作业意图识别、理解与行为预测等技术;突破人机共享环境重构建模、高效互助行为规划等技术;探索人机共融协作安全保护机制,构建人-机-环境多元共融协作机器人系统,在3C装配等作业任务典型场景开展实验验证。

考核指标: 建立机器人自然交互与共融协作相关理论与方法,研制不少于3类共融协作机器人系统,实现表情/语音/手势的综合识别正确率 $\geq 95\%$ ,动态规划频率 $\geq 100\text{Hz}$ ,碰撞力觉感知 $\leq 0.5\text{N}$ ,反应式行为重规划时间 $\leq 100\text{ms}$ ,在不少于3类典型场景中进行技术验证,并结合典型场景任务建立相应的人-机-物交互作用与共融协作考核指标体系;能够完成过渡配合装配、人机协作物品传递、动态环境主动避障与被动顺应等功能;整体技术就绪等级 $\geq 4$ 级。至少有2项先进前沿技术实现首创或达到

同类技术的国际领先水平，并提供佐证材料；受理/授权不少于 5 项发明专利。

关键词：协作机器人，自然交互，共融协作，动态非结构环境

## 2.4 机器人自动化产线快速重构技术（共性关键技术类）

研究内容：面向消费类电子产品等高端制造业对多品种、定制化、混流生产、快速换产的新型制造模式需求，研究即插即用型机器人加工/检测/装配制造单元模块化设计方法；突破机器人/设备/制造执行系统间多协议自适应交互与高效互联，异构制造单元动态配置与组合优化，产线仿真、重构与快速组线接入等关键技术；开发任务驱动的工业机器人快速配置、快速标定、快速示教与低代码编程方法，研制多工艺适配移动作业机器人，构建快速换产可重构机器人自动化生产线，面向消费类电子等产品制造需求，实现技术验证。

考核指标：围绕电子产品等高端制造业需求研制出模块化、高稳定性、高速、灵巧作业机器人制造单元，加速度 $\geq 2g$ （重力加速度），运行速度 $\geq 2m/s$ ，不同工艺末端执行器更换时间 $\leq 2min$ ，更换后重复定位精度 $\leq \pm 0.02mm$ ；研制出即插即用多工艺适配移动作业机器人，移动定位精度 $\leq \pm 10mm$ ，可与不少于 3 种执行单元重构组合，实现适配工艺不少于 3 种；研制出满足手机、笔记本电脑等消费类电子产品制造的可重构机器人自动化生产线，机器人数量 $\geq 20$ 台（套），生产效率比人工生产提升 $\geq 30\%$ ，产品换线后产线装备复用率 $\geq 80\%$ 。在国内消费类电子等产品制

造骨干企业开展应用验证。整体技术就绪等级 $\geq 7$ 级；受理/授权不少于5项发明专利。

关键词：可重构，即插即用，移动作业

## 2.5 重载工业机器人研发与应用（共性关键技术类）

研究内容：面向机器人高精度重载作业技术需求，研究机电控参数耦合的联合建模与一体化协同设计，基于多目标优化的运动学、动力学联合建模，动态负载工况下运动控制、轨迹规划与误差实时补偿，高速运动振动抑制与轨迹精度保持等关键技术，研制500kg级国产重载工业机器人产品，面向国家重点行业战略需求开展相关应用工艺研究，实现应用验证。

考核指标：研制额定载荷 $\geq 500\text{kg}$ ，自由度 $\geq 6$ 的串联多关节重载机器人；整机负载自重比 $\geq 0.2$ ，臂展 $\geq 2800\text{mm}$ ；位置重复定位精度 $\leq \pm 0.08\text{mm}$ ，轨迹重复定位精度 $\leq \pm 0.30\text{mm}$ ；机器人0.4mm内稳定时间 $\leq 200\text{ms}$ ；平均无故障时间 $\geq 60000\text{h}$ ，控制器、减速器、伺服系统等核心零部件的国产化率 $\geq 85\%$ ，功能安全符合ISO10218标准相关要求。面向航空、航天、船舶等国家重点行业开展应用验证。整体技术就绪等级 $\geq 7$ 级；受理/授权不少于5项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：重载机器人，精度保持，振动抑制

## 3 服务机器人

### 3.1 医工交叉新概念机器人（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：针对医工交叉前沿学科发展态势，通过材料、机

械、信息、医学、微纳等多学科与机器人的交叉融合，研究提升机器人环境适应能力、任务作业能力或智能决策能力的新原理、新方法、新形态，实现医工交叉新概念机器人创新设计。

考核指标：形成具有原创性的医工交叉新概念机器人，研制系统样机，展示在相关重要领域的潜在应用，具体任务目标和系统考核指标由申报项目团队自主设计。相对于领域已有技术，至少 1 项单项技术在提升机器人环境适应能力、任务作业能力或智能决策能力上具有突破性创新。整体技术就绪等级  $\geq 5$  级；受理/授权不少于 5 项发明专利。

有关说明：拟支持项目数 3 项。

关键词：医工交叉，新概念机器人，微纳机器人

### **3.2 基于脑机智能融合的行为增强理论与方法（基础研究类）**

研究内容：面向融合机器人智能与动物智能的行为增强需求，探索高生物相容微创中枢神经信号的传感、提前预估、生机系统控制权转换、混合智能决策、多个行为增强群体的动态博弈等基础理论，研究双向脑控与控脑并举的控制模式、基于中枢神经信号直接快速准确感知的智能机器人行为增强等关键技术，集成脑机智能与行为增强机器人原理样机，开展典型应用验证。

考核指标：提出生机融合系统中基于脑机智能融合的行为增强技术，研制出不少于 3 类微创自展开高通量神经电极，创口面积与电极面积比  $\leq 0.2$ ，自展开后电极位点之间相对位置平均精度误差  $\leq 10\mu\text{m}$ ，通量数  $\geq 1024$ ，有效电刺激所需电流阈值  $1\mu\text{A}\sim 1\text{mA}$

可调；通过亚慢毒性试验不少于 32 周；在体植入 8~12 个月，高通量神经电极信号采集有效通道百分比  $\geq 80\%$ ；在不少于 3 种啮齿动物、大动物、非人灵长类等模式动物上分别开展不少于 3 个脑区的信息交互实验验证（其中非人灵长类动物为必要项）；脑机交互模式包含实时感知与闭环调控、控制权转换、生机混合决策及行为增强等；整体技术就绪等级  $\geq 6$  级，至少在 1 种模式动物上验证群体博弈系统框架。至少 2 项先进技术实现首创或达到同类技术的国际领先水平；受理/授权不少于 5 项发明专利。

关键词：生机智能融合，行为增强，群智博弈

### **3.3 药物靶向递送场控微纳机器人与驱控系统（基础研究类）**

研究内容：针对大型动物大时空高干扰体内环境引起的药物靶向递送难题，研究高生物相容微纳机器人的仿生设计、环境感知、运动控制等基础理论与实现方法；探索微纳机器人多模式运动机理及群体调控机制，突破大型动物活体腔室内药物靶向输运、多重响应复合治疗、降解/回收等关键技术；构建微纳机器人演示验证平台，结合典型疾病开展大动物活体试验。

考核指标：突破大型动物活体药物靶向递送场控微纳机器人系统的前沿关键技术；研制出不少于 2 类生物相容微纳机器人，具备三维游动能力、轨迹跟踪精度  $\leq 10\%$  体长，至少 1 种机器人运动速度达到每秒 30 倍体长、轨迹跟踪精度  $\leq 10\%$  体长；体液环境下群体导航定位精度优于群体尺寸的 1 倍；研制出面向实验用猪等大动物疾病治疗样机系统，有效作业空间  $\geq$

20cm×20cm×20cm、场控运动自由度 $\geq 5$ 、致动频率 $\geq 80\text{Hz}$ ，实现消化道、关节腔、眼内等典型疾病的大动物活体试验；整体技术就绪等级 $\geq 6$ 级。至少有2项先进前沿技术实现首创或达到同类技术的国际领先水平，并提供佐证材料；受理/授权不少于5项发明专利。

关键词：场控微纳机器人，药物靶向递送，大型动物活体试验

### 3.4 变内径自然腔道复杂操作柔性机器人技术（共性关键技术类）

研究内容：针对柔性变形腔道，如消化道等尺寸变化大、操作复杂、手术风险高的难题，研究具有大弯曲曲率适应和跨管腔能力的柔性机器人构型、力觉交互感知、变内径腔道建模与术中实时导航、变内径腔道运动自主控制等关键技术，研制机器人系统样机，建立机器人操作流程及规范，完成伦理报备，开展动物实验及有效性评价，在胆胰管介入手术等场景开展技术与功能验证。

考核指标：研制柔性变内径腔道复杂操作机器人系统，实现插管、取物等复杂操作；柔性机器人末端外径 $\leq 2.8\text{mm}$ 、曲率半径 $\leq 15\text{mm}$ ，弯曲角度 $\geq 120^\circ$ ，自由度满足相应术式要求；柔性机器人末端三维力感知精度 $\leq 0.05\text{N}$ ；综合定位精度 $\leq 1.5\text{mm}$ ，导航误差 $\leq 5^\circ$ ；整体技术就绪等级 $\geq 7$ 级，完成不少于10例同种大型动物实验，并提交第三方评价报告；受理/授权不少于5项发明专利。

关键词：介入手术机器人，力觉交互感知，自主导航

### **3.5 狭小空间注射采样连续体机器人技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对刚性狭小、弯曲孔道内灵巧操作难题，研究多重约束下微型灵巧连续体机构创成、复杂孔道精细化三维建模、路径和姿态规划与位姿精准控制、内镜影像增强引导与人机协同安全操作等关键技术，研制机器人系统样机，实现其在狭小、弯曲孔道内多重约束下灵活运动、精准操作；建立机器人操作流程及规范，完成伦理报备，开展动物实验及有效性评价，在经耳道的内耳注射和采样等经骨质刚性、狭小自然腔道的手术场景开展技术与功能验证。

考核指标：研制狭小空间多重约束下连续体机器人系统，具备注射和采样等功能；执行器连续体外径 $\leq 2\text{mm}$ 、自由度数 $\geq 5$ ，连续体轨迹跟踪误差 $\leq 0.3\text{mm}$ ；末端执行器直径 $\leq 100\mu\text{m}$ ，目标点识别准确率 $\geq 90\%$ ，穿刺操作重复定位精度 $\leq 0.1\text{mm}$ ；整体技术就绪等级 $\geq 7$ 级，完成同种动物实验不少于10例，并提交第三方评价报告；受理/授权不少于5项发明专利。

关键词：连续体机器人，位姿规划，精细手术

### **3.6 异质组织清创切除机器人技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对狭小空间、软—硬组织交错混杂场景下机器人操作与控制难题，研究多器械协同灵巧清创切除操作机构、基于功能与结构影像融合的异质组织精确感知与辨识、规划与视觉融合导航、任务动态分配与决策、人机协作安全交互控制等关键技术，研制复杂场景下异质组织清创切除机器人系统样机，建立

机器人操作流程及规范，完成伦理报备，开展实验验证及有效性评价，在关节内感染清创手术等场景开展技术与功能验证。

考核指标：研制复杂场景下异质组织清创机器人系统，机械臂自由度满足相应术式要求，携带末端清创器械种类 $\geq 5$ 、自由度 $\geq 3$ ；异质组织边界辨识率 $\geq 95\%$ ；协同操作下机器人边界控制精度 $\leq 1\text{mm}$ ；整体技术就绪等级 $\geq 7$ 级，完成不少于 10 例同种动物和尸体标本实验验证，并提交第三方评价报告。受理/授权不少于 5 项发明专利。

关键词：清创切除机器人，异质组织识别，多器械协同

### **3.7 腹腔镜手术机器人自主缝合作业技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对腹腔镜手术机器人自主缝合作业难题，研究基于视觉的触觉虚拟力精准生成、手眼协同标定、实时精准定位导航、术者经验数据学习与知识迁移、基于手术操作指令集的自主缝合动作生成等关键技术，研制高效腹腔镜手术自主缝合作业机器人系统样机，建立自主缝合机器人操作流程及规范，开展动物实验及有效性评价，在肾脏等实质脏器腹腔镜手术场景开展技术与功能验证。

考核指标：研制高效腹腔镜手术自主缝合作业机器人系统，实现手术创面自主缝合操作，支持不同孔数的手术入路类型 $\geq 2$ ；视触觉力转化率 $\geq 90\%$ ，虚拟力转化精度 $\leq 0.5\text{N}$ ；手眼标定精度 $\leq 0.5\text{mm}$ ；软组织导航定位精度优于 $1\text{mm}$ ；缝合精度 $\leq 2\text{mm}$ ，单针缝合时间 $\leq 15\text{s}$ ；整体技术就绪等级 $\geq 7$ 级，完成不少于 10 例小型猪

动物实验,并提交第三方评价报告;受理/授权不少于5项发明专利。

关键词: 腹腔镜手术机器人, 自主缝合操作, 视触转换虚拟力

### **3.8 弱能老人高相容性照护康复机器人技术与系统(共性关键技术类)**

研究内容: 针对可恢复性弱能老年人的照护与康复难题, 研究照护康复机器人多位姿支撑、多旋转中心高相容性机构设计, 弱能老人意图检测、理解与人机交互, 康复改善机理与安全照护方法, 量化评估与个性化处方生成, 智能照护与多模态康复干预等关键技术, 建立运动能力评估、照护和康复训练智能信息平台, 研制可恢复性弱能老人高相容性照护康复机器人系统, 完成伦理报备, 开展临床验证。

考核指标: 研制可恢复性弱能老人高相容性照护康复机器人系统, 具有多位姿支撑、肢体运动自适应、弱意识检测、多模康复干预等功能; 机器人髋、膝、踝等关节自由度总数 $\geq 10$ , 照护康复体位 $\geq 5$ 种, 关节运动匹配度 $\geq 80\%$ ; 运动能力综合评估准确率 $\geq 90\%$ , 弱能意图理解准确率 $\geq 80\%$ ; 意识检测及康复干预种类 $\geq 5$ 种, 康复训练模式 $\geq 3$ 种; 整体技术就绪等级 $\geq 7$ 级, 完成不少于10例临床验证; 受理/授权不少于5项发明专利。

关键词: 康复机器人, 机构相容性, 康复干预

### **3.9 活动靶区位姿实时精准调控肿瘤放射治疗机器人系统(应用示范类)**

研究内容: 针对胸、腹腔活动肿瘤靶区与放射线精确对准的

放射治疗操作难题，研究体表与体内肿瘤靶区关联运动建模，并建立体表监测下的靶区运动预测模型，体表微运动实时高精度追踪，大负载、高刚性定位机器人设计与高精度动态控制等关键技术，开展机器人临床操作规范与放疗手术室兼容性设计，研制活动靶区位姿实时精准调控肿瘤放射治疗机器人系统，开展机器人系统操作规范、临床诊疗规范研究，完成产品注册。

考核指标：研制活动靶区位姿实时精准调控肿瘤放射治疗机器人系统，整机系统获 NMPA 第三类医疗器械注册证；定位机器人最大负载  $\geq 200\text{kg}$ ；定位精度误差  $\leq 0.5\text{mm}$ ，角度偏差  $\leq 0.2^\circ$ ；体表追踪精度  $\leq 0.5\text{mm}$ ；肿瘤放射治疗中心偏差  $\leq 3\text{mm}$ ，角度偏差  $\leq 1^\circ$ ；整体技术就绪等级  $\geq 8$  级，完成 NMPA 规定的临床病例数；受理/授权不少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。结题时提供肿瘤放射治疗机器人整机系统，按照 NMPA 医疗器械产品注册的要求完成产品检测和临床试验并获得第三类医疗器械注册证。

关键词：放射治疗机器人，活动靶区，实时调控

### **3.10 骨肿瘤切除机器人系统（应用示范类）**

研究内容：针对骨肿瘤切除等异形截骨手术操作难题，研究基于 CT/MR 的多模影像融合、特征识别、分割和病灶重建，复杂不规则曲面切除路径规划和增强导航，交互作用智能感知及机器人精准控制等关键技术；研制骨肿瘤切除机器人系统，以及配套动力装置和手术工具，完成 NMPA 规定的产品检测与临床试验，开展机

机器人系统操作规范、临床诊疗规范研究，完成产品注册。

考核指标：研制骨肿瘤切除机器人系统，具有异形曲面智能规划和组织精准切除等功能，整机系统获得 NMPA 第三类医疗器械注册证；机器人自由度  $\geq 6$ ，负载  $\geq 7\text{kg}$ ，绝对定位精度  $\leq 1.0\text{mm}$ ；系统动态轨迹误差  $\leq 1.0\text{mm}$ ；肿瘤组织识别、分割准确率  $\geq 90\%$ ；切削力识别分辨率  $\leq 0.5\text{N}$ ；机器人生理运动补偿延迟  $\leq 10\text{ms}$ ；整体技术就绪等级  $\geq 8$  级，完成 NMPA 规定的临床病例数；受理/授权不少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。结题时提供骨肿瘤切除机器人整机系统，按照 NMPA 医疗器械产品注册的要求完成产品检测和临床试验并获得第三类医疗器械注册证。

关键词：骨肿瘤切除机器人，不规则曲面规划，异形截骨

## 4 特种机器人

### 4.1 仿生新概念机器人（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：围绕国家重大需求场景，基于仿生学的前沿理论与先进技术，探索新型驱动、新型机构等，研究提升机器人环境适应能力、任务作业能力或智能决策能力的新原理、新方法、新形态，实现仿生新概念机器人创新设计。

考核指标：形成具有原创性的仿生新概念机器人，研制系统样机，展示在相关重要领域的潜在应用，具体任务目标和系统考核指标由申报项目团队自主设计。相对于领域已有技术，至少 1 项单项技术在提升机器人环境适应能力、任务作业能力或智能决

策能力上具有突破性创新；整体技术就绪等级 $\geq 6$ 级，受理/授权不少于5项发明专利。

有关说明：拟支持项目数3项。

关键词：仿生原理，新概念机器人，新型驱动，新型机构

#### **4.2 机器人精密装配微纳操控原理与技术（基础研究类）**

研究内容：针对微小尺度下精密作业的需求，研究柔性精密传动原理，突破超高精密运动创成的非线性补偿、高分辨率位移控制、微小尺度下的精准力控等关键技术，形成宏—微—纳跨尺度的精密传动力位同步驱控理论与设计方法，研制微纳操控机器人原理样机，并结合典型应用开展实验验证。

考核指标：建立机器人精密装配微纳操控新原理与新技术；研制微纳操控机器人原理样机，实现定位、夹持、进给、旋转等典型微纳操作，至少在X和Y两个相互正交的方向上同时实现直线位移 $\geq 100\text{mm}$ ，分辨率 $\leq 2\text{nm}$ ，平面度 $\leq 20\text{nm}$ ；旋转运动范围 $\geq \pm 90^\circ$ ，角分辨率 $\leq 0.01^\circ$ ；最大操作力 $\geq 10\text{N}$ ，分辨率 $\leq 10\text{mN}$ ；最大操作力矩 $\geq 1\text{N}\cdot\text{mm}$ ，分辨率 $\leq 1\text{mN}\cdot\text{mm}$ ；整体技术就绪等级 $\geq 6$ 级。至少有2项先进前沿技术实现首创或达到同类技术的国际领先水平，并提供佐证材料；受理/授权不少于5项发明专利。

关键词：微纳操控，柔性精密传动，力位同步驱控

#### **4.3 自主移动机器人集群系统动态调度与优化（共性关键技术类）**

研究内容：针对智能仓储和智能制造对自主移动机器人规模

模集群作业的迫切需求，研究复杂动态环境下多智能体高精度导航与分布式协同感知、自主移动机器人集群大规模实时调度、基于数据驱动和深度学习的协同作业优化等技术；研发自主移动机器人集群系统动态调度与优化方法，并进行实验验证。

考核指标：形成自主移动机器人集群系统动态调度与优化方法，机器人种类不少于3种，支持二维码导航和同步定位与建图（SLAM）导航等不少于2种导航模式，SLAM导航精度 $3\sigma$ 概率下误差 $\leq \pm 1\text{cm}$ ；系统调度能力 $\geq 3000$ 台；在医药流通、电商零售、鞋服、智能制造等典型场景下开展机器人总数不少于20000台的应用验证；整体技术就绪等级 $\geq 5$ 级，受理/授权不少于5项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：自主移动机器人，集群调度

#### **4.4 冶炼炉高温强冲击载荷作业机器人技术（共性关键技术类）**

研究内容：面向机器人冲击类作业技术需求，探索强冲击载荷对机器人传动结构的力学作用与失效机理，开展恶劣工况下强冲击类作业机器人机构设计与卸荷方法、瞬时大扭矩高功率电机、强冲击载荷下机器人振动抑制、基于视觉—力伺服控制的大负载复杂作业等关键技术研究；研制强冲击载荷作业机器人，面向典型场景开展应用验证。

考核指标：形成强冲击载荷作业机器人设计方法，研制强冲击载荷作业机器人系统，针对工业硅、电石以及硅锰、硅铁等高

温冶炼等典型场景开展应用验证。冲击作业机器人自由度数 $\geq 5$ 个；末端最大冲击载荷 $\geq 80000\text{N}$ ，工作温度 $\geq 2000^\circ\text{C}$ ；定位精度 $\leq 3\text{cm}$ ，最大冲击作业行程 $\leq 3.5\text{m}$ ，最大速度 $\geq 1.8\text{m/s}$ ；无故障冲击次数 $\geq 10000$ 次，开展不少于5台的应用验证。制定国家、行业或相关团体标准 $\geq 2$ 项。整体技术就绪等级 $\geq 7$ 级，受理/授权不少于5项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：强冲击环境，机器人设计方法，卸荷方法

#### **4.5 海上新能源发电场水下敷缆作业机器人系统与应用示范 (应用示范类)**

研究内容：针对国内海上新能源发电场海缆敷埋施工作业难度大、持续作业能力差问题，开展高压力环境下滩涂、海底不同土壤敷缆作业载荷分析、水下稀软土行走与推进技术、水下自主定位导航技术、水下电缆探测定位与自动控轨技术等关键技术研究；研制适应不同土壤底质的海底敷缆作业机器人系统，在典型场景开展应用验证。

考核指标：研制应用不同土壤底质的海底敷缆作业机器人系统。机器人最大工作水深 $\geq 200\text{m}$ ；作业适用海床底质为沙土、黏土、淤泥等，土壤最大硬度 $\geq 100\text{kPa}$ ；可配置履带、雪橇等行走能力；水下电缆埋深探测能力 $\geq 9\text{m}$ （电缆通电/加入信号）以及 $\geq 3\text{m}$ （电缆不通电/无信号加入）；可敷埋电缆最大直径 $\geq 400\text{mm}$ ，海缆敷埋作业速度 $\geq 700\text{m/h}$ ，水下连续工作时间 $\geq 35$ 天；敷埋深

度能力  $\geq 5\text{m}$ ，敷埋位置误差  $\leq 0.5\text{m}$ 。在海上新能源发电场海缆敷埋施等场景开展应用示范。制定国家、行业或相关团体标准  $\geq 1$  项。整体技术就绪等级  $\geq 8$  级，受理/授权不少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：水下机器人，水下自主定位，海缆敷埋

## **“智能机器人”重点专项 2023 年度 “揭榜挂帅”榜单**

为深入贯彻落实国家科技创新有关部署安排，切实加强创新链和产业链对接，“智能机器人”重点专项聚焦国家战略亟需、应用导向鲜明、最终用户明确的重大攻关需求，凝练形成 2023 年度“揭榜挂帅”榜单，现将榜单任务及有关要求予以发布。

### **一、申报说明**

本批榜单拟启动 2 个项目，共拟安排国拨经费不超过 5500 万元。每个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 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

榜单申报“不设门槛”，项目牵头申报和参与单位无注册时间要求，项目（课题）负责人无年龄、学历和职称要求。申报团队数量不多于拟支持项目数量的榜单任务方向，仍按程序进行项目评审立项。明确榜单任务资助额度，简化预算编制，经费管理探索实行“负面清单”。

### **二、攻关和考核要求**

揭榜立项后，揭榜团队须签署“军令状”，对“里程碑”考核要求、经费拨付方式、奖惩措施和成果归属等进行具体约定，并将榜单任务目标摆在突出位置，集中优势资源，全力开展限时攻关。项目（课题）负责人在揭榜攻关期间，原则上不得调离或辞

去工作职位。

项目实施过程中，将最终用户意见作为重要考量，通过实地勘察、仿真评测、应用环境检测等方式开展“里程碑”考核，并视考核情况分阶段拨付经费，实施不力的将及时叫停。

项目验收将通过现场验收、用户和第三方测评等方式，在真实应用场景下开展，并充分发挥最终用户作用，以成败论英雄。由于主观不努力等因素导致攻关失败的，将按照有关规定严肃追责，并依规纳入诚信记录。

### 三、榜单任务

#### 1. 国产机器人汽车焊装生产线关键技术与应用示范(应用示范类)

研究内容：面向汽车产业对工业机器人焊装生产线的巨大需求，开展点焊机器人系统可靠性及易用性设计、焊接质量在线控制、国产控制通讯协议，以及焊装整线设计与控制技术研究，突破点焊加压压力精度及分段控制、修模量精度提升及挠度补偿、混线生产等关键技术。基于国产工业总线协议开发汽车焊装整线总控系统，以国产工业机器人为核心单元构建汽车白车身焊装生产线，并开展应用示范。

考核指标：在整车厂建成分总成国产工业机器人焊装生产线，单条产线国产工业机器人数量 $\geq 90$ 台，点焊机器人负载能力 $\geq 210\text{kg}$ ，重复定位精度 $\leq 0.1\text{mm}$ ，平均无故障工作时间 $\geq 60000\text{h}$ ；产线纲领为年产 $\geq 10$ 万辆，产线兼容车型 $\geq 2$ 种；点焊机器人加

压压力误差 $\leq 3\%$ ，修模量计算误差 $\leq 0.2\text{mm}$ ，焊接位置误差 $\leq 0.06\text{mm}$ ，机器人平均单点焊接时间 $\leq 2.2\text{s}$ 。在国家汽车制造骨干企业开展应用示范。制定国家、行业或相关团体标准 $\geq 1$ 项。整体技术就绪等级 $\geq 8$ 级；受理/授权不少于5项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。配套经费与国拨经费比例不低于3:1，鼓励地方政府提供配套支持。研发时限为3年，立项1年、2年后开展“里程碑”考核。

榜单金额：不超过3000万元。

关键词：白车身点焊，焊装整线总控系统，挠度补偿

## **2. 大口径油气管道柔性焊接机器人关键技术与应用示范(应用示范类)**

研究内容：面向国家油气管网野外高效高质焊接的迫切需求，研究管道柔性内焊机器人、冗余自由度外焊机器人系统构型及轻量化设计技术；研究基于视觉引导的焊缝跟踪和熔池监控技术；研究多层多道焊机器人运动轨迹规划、焊缝数字建模、焊缝表面评估与缺陷自动补偿、焊接机器人工艺数据库及深度学习等关键技术；研究机器人柔性焊接系统野外复杂环境作业的适应性和可靠性。突破管道全位置焊接机器人智能化自适应焊接控制方法，研制大口径高压油气管道自动焊接机器人，构建柔性成套作业系统，并在国家骨干油气管网新建工程开展应用示范。

考核指标：研制出大口径高压油气管道柔性焊接机器人成套系统，实现野外油气管道自动化焊接。外焊机器人自由度数 $\geq 5$ ，

末端载荷 $\geq 7\text{kg}$ ，机器人运行速度 $\geq 2.5\text{m/min}$ ；焊缝三维重构精度 $\leq 0.1\text{mm}$ ，焊缝表面缺陷自动补偿率 $\geq 90\%$ ，焊缝跟踪 TCP 定位精度 $\leq 0.1\text{mm}$ ，姿态角误差 $\leq 1^\circ$ ；内焊机器人通过弯管能力优于 6D（弯管的曲率半径为 6 倍管径的能力）、爬坡能力 $\geq 25^\circ$ ；管径覆盖范围 610mm~1422mm；作业效率比传统自动焊效率提升 20% 以上，MTBF（平均无故障工作时间） $\geq 8000\text{h}$ ；湿热、高寒等环境下的焊接一次合格率 $\geq 98\%$ 。研制不少于 3 套国产高压力管道全位置机器人柔性焊接系统，且每套系统均不少于 5 台机器人，在国家骨干油气管网新建工程开展不少于 60000 道焊口、200000m 焊缝长度以上的应用示范，制定国家、行业或相关团体标准 $\geq 1$  项。整体技术就绪等级 $\geq 8$  级，受理/授权不少于 5 项发明专利。

有关说明：由企业牵头申报。配套经费与国拨经费比例不低于 3:1，鼓励地方政府提供配套支持。研发时限为 3 年，立项 1 年、2 年后开展“里程碑”考核。

榜单金额：不超过 2500 万元。

关键词：油气管道，柔性焊接，缺陷补偿

## **“智能机器人”重点专项 2023 年度 项目申报指南和榜单形式审查条件要求**

申报项目须符合以下形式审查条件要求。

### **1. 推荐程序和填写要求**

(1) 由指南规定的推荐单位在规定时间内出具推荐函。

(2) 申报单位同一项目须通过单个推荐单位申报，不得多头申报和重复申报。

(3) 项目申报书（包括预申报书和正式申报书，下同）内容与申报的指南方向相符。

(4) 项目申报书及附件按格式要求填写完整。

### **2. 申报人应具备的资格条件**

(1) 项目（课题）负责人应为 1963 年 1 月 1 日以后出生，具有高级职称或博士学位。

(2) 青年科学家项目负责人应具有高级职称或博士学位，男性应为 38 周岁以下（1985 年 1 月 1 日以后出生），女性应为 40 周岁以下（1983 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。

(3) 受聘于内地单位的外籍科学家及港、澳、台地区科学家可作为项目（课题）负责人，全职受聘人员须由内地聘用单位提供全职聘用的有效材料，非全职受聘人员须由双方单位同时提供

聘用的有效材料，并作为项目预申报材料一并提交。

(4) 参与重点专项实施方案或本年度项目指南编制的专家，原则上不能申报该重点专项项目（课题）。

(5) 诚信状况良好，无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。

(6) 中央和地方各级国家机关的公务人员（包括行使科技计划管理职能的其他人员）不得申报项目（课题）。

(7) 项目申报人员满足申报查重要求。

### **3. 申报单位应具备的资格条件**

(1) 在中国大陆境内登记注册的科研院所、高等学校和企业等法人单位。国家机关不得作为申报单位进行申报。

(2) 注册时间在 2022 年 6 月 30 日前。

(3) 诚信状况良好，无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。

### **4. 本重点专项指南规定的其他形式审查条件要求**

(1) “揭榜挂帅”项目（课题）负责人无年龄、学历和职称要求，项目牵头申报和参与单位无注册时间要求。

(2) 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。

**本专项形式审查责任人：张景波**

## **“网络空间安全治理”重点专项 2023 年度项目申报指南及“揭榜挂帅”榜单**

(仅国家科技管理信息系统注册用户登录可见)

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“网络空间安全治理”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2023 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：围绕全球网络公害、涉及民生的数据资产和“新基建”基础设施等领域的安全挑战，开展互联网基础设施、数据、网络公害、新技术新应用领域安全治理的战略性、基础性、前沿性研究，到 2025 年力争打造自立自强的网络空间安全治理技术体系，形成中国特色的网络空间安全治理方案，支撑实现网络空间的“共建、共治、共享”。

2023 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕互联网基础设施治理、网络空间数据治理、网络公害与内容治理、新技术新应用治理 4 个技术方向，按照基础研究、共性关键技术两个层面，拟启动 19 项指南任务，拟安排国拨经费 2.28 亿元。其中，围绕互联网基础设施治理、网络空间数据治理、网络公害与内容治理等技术方向，部署青年科学家项目，每个项目 200 万元。青年科学家项目对配套经费不做要求，可不要求指

南内容全覆盖。共性关键技术类项目配套经费与国拨经费比例不低于 1.5:1。项目由相关专业机构组织，采用专家评审、第三方权威机构测评或用户部门试用评价等方式开展考核。

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 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。

青年科学家项目不要求对指南内容全覆盖，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 1985 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1983 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。

## **1 互联网基础设施治理**

### **1.1 互联网域名服务授权机制的安全模型分析与安全增强技术（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：针对互联网域名解析体系中重要域名授权依赖信任链冗长、易被攻击者隐蔽劫持操控的问题；研究域名系统授权机制的安全威胁建模方法，提出脆弱性分析技术；研究重要域名及其海量量子域名授权依赖关系安全状态的快速评估技术；研究基于域名系

统复杂授权的网络攻击行为发现及风险预警技术；研究兼容国际域名协议标准的轻量级域名系统授权机制安全增强技术。

考核指标：提出域名系统授权机制的安全威胁建模方法，面向 BIND 软件在内的不少于 8 款主流域名解析软件，以及不少于 40 家重要域名解析厂商，完成脆弱性分析，向中国国家漏洞数据库（CNVD）提交不少于 10 个相关安全漏洞；具备百万级重要域名与千万级子域名的授权依赖安全状态风险评估能力，且评估时间不大于 4 小时；提出基于域名系统复杂授权的网络攻击风险发现模型，风险预警准确率不低于 95%；提出通用轻量级域名授权机制安全增强技术，域名解析服务整体性能下降不超过 5%。

有关说明：拟支持 2 项。

关键词：域名系统安全，域名授权威胁，域名安全增强。

## **1.2 基于我国标准密码算法的实时可信身份技术及其应用 （共性关键技术类）**

研究内容：面向多网融合场景下时间敏感应用的可信身份认证需求，研究高可信实时身份保障框架，构建新型身份信任网络基础系统；研究开放环境下基于我国标准密码算法的实时身份可信主体要素模型，实现基于基础信任源的端到端可信安全身份基的构建，实现身份全网安全可证明与验证；研究跨异构网/域的高效实时身份认证链传递模型，实现可信身份机制与业务协议有机的融合，提供多层次、多场景可信身份服务；研究基于我国标准密码算法的实时身份泛在关键密码技术，实现轻量级、低成本、

可扩展的弱计算能力通信终端的密钥管理、签名验签等可信身份相关密码功能；针对广泛使用的电话通信等典型应用场景，研究实时可信身份系统支撑技术，构建完整的产品技术链，包括可信身份管理、运维支撑和监测监督等技术，并进行规模化应用验证。

考核指标：研究开放环境下的实时可信身份保障体系框架，搭建支持端到端可信身份验证的基础系统，具备跨地域、跨网络的多层次可信身份信任的快速构建、可证明与验证管理能力，跨异构网络的端到端身份证明与验证时间不大于 300ms，核心网络网关到网关的鉴别延时不大于 200ms，具备全面支持我国标准密码算法，包括 SM2，SM3、SM4 和 SM9 算法；完成至少 1 项面向商用非定制终端的安全人机绑定技术，具备抗设备丢失的身份安全能力；完成至少 2 款支持会话初始协议（SIP）通信的可信终端，2 款支持 4/5G 并支持 SIP 的移动智能终端通信可信模块，1 款可信通信网关产品研制；完成不少于 3 个省级示范应用，可信身份服务能力不少于 1 亿，月有效呼叫累计次数不少于 1000 万，支持不少于 2 类典型应用场景；研制的身份运维支撑系统应能自动对接我国的实名身份认证系统和许可的数字证书认证系统，身份证明信息转发速度不小于 1 千万次/秒；至少完成 2 份互联网工程任务组（IETF）标准草案或国家或行业标准立项。

关键词：可信身份，实时，密码，通信。

### 1.3 分布式无证书网络身份系统的关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对传统身份认证系统证书管理复杂，中心化身

份认证效率低、受网络攻击风险大，无法满足海量异构物联网终端和节点安全可靠接入的身份认证需求，研究基于精确时标和位置信息的抗攻击共识算法，设计基于区块链的高性能无证书的网络身份认证系统架构；研究在密钥安全性无法持续保障时安全可靠的身份认证协议及基于区块链的无证书认证系统的密钥管理协议，保障物联网设备认证的高效安全性；研究支持海量物联网终端身份认证协议的硬件加速方案，突破大规模终端并发接入时分布式认证的效率瓶颈；研究适用于海量异构物联网节点身份认证的高性能智能合约虚拟机技术，解决制约大规模区块链智能合约并发执行的计算能力问题；研究大规模分布式数字身份系统集成与应用方案，构建基于国产芯片的分布式大规模物联网身份认证基础设施，面向典型行业开展技术应用验证。

考核指标：提出高性能分布式无证书网络身份认证体系架构；设计分布式环境下无证书的网络身份认证协议族，满足密钥安全性无法持续保障时对身份信息的可靠验证，实现基于区块链的无证书认证系统的密钥生成、密钥分发、密钥回收等；基于国产芯片的服务器平台，研发一套高性能分布式无证书的网络身份认证系统；基于精确时标和位置信息的抗攻击共识算法事务处理量达到每秒 5 万次以上；硬件加速国密身份认证计算性能达每秒 10 万次以上，单节点支持 10 万个以上物联网终端并发安全链接；通过硬件加速可承载每秒 50Gbit 以上物联网终端认证流量；单节点的身份认证哈希计算能力达每秒 100Gbit 以上，以支持高效和

全程可溯源的区块链身份认证；身份认证区块链网络至少 4 个主节点；在至少 2 个典型工业互联网等场景开展示范验证。

关键词：分布式身份认证，无证书，区块链。

## 2 网络空间数据治理

### 2.1 基于完备代数群模型的隐私保护基础理论（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：面向数据安全领域中关于数据隐私保护的相关任务，围绕数据安全流通和使用及保障隐私数据个人权益场景中对高性能隐私保护技术的需求，研究基于零知识证明的隐私保护技术及其在密码学领域可证明安全框架下的理论基础——代数群模型；针对多项隐私保护技术的理论基础（代数群模型）被证伪，进而引发的相关隐私保护技术出现广泛安全风险的问题，分析代数群模型的严格定义方法，推进代数群模型完备化的基础性研究，突破基于代数群模型的相关隐私保护技术在可证明安全框架下的技术瓶颈，完成多项工业界隐私保护技术在完备的代数群模型下的安全性形式化验证。

考核指标：所重构的代数群模型在密码学领域可证明安全框架下具有完备性，可以支撑基于该模型的隐私保护技术可证明安全的功能；提出基于完备代数群模型的隐私保护技术的通用性形式化验证方案 1 项；所提出的形式化验证方法能够对至少 5 项工业界隐私保护技术实现在完备代数群模型下安全性验证；完成相关专利 1 项和技术报告 2 篇。

有关说明：拟支持 2 项。

关键词：隐私保护技术，数据安全，代数群模型。

## 2.2 全同态加密关键密码算法及可信性验证方法（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：围绕数据安全保护场景中对密态计算的需求，研究基于整格及模格的全同态加密算法及加密体系转换方法，形成统一的计算误差分析理论及安全性评估技术；研究全同态算法自动构成理论及同态算法中间表示，形成由明文算法向同态算法的自动编译框架；研究全同态加密计算验证理论，形成对全同态算法的可信性验证技术；融合以上理论、方法和技术，形成新型全同态加密算法及可信性验证理论体系，并应用于机器学习、数据分析等领域，形成全栈式全同态加密理论验证平台。

考核指标：提出统一的计算误差分析理论与安全性评估技术，能够对融合整格、理想格及模格等 3 种以上加密体系的全同态算法进行计算误差分析与安全性评估，分析误差与实际误差之间相差不超过 0.0002%；基于自主研发的开源全同态加密计算平台，实现全同态机器学习算法及全同态数据库算法的自动编译；支持在恶意环境中对密文上执行的全同态算法进行验证，验证计算的额外时间开销低于原计算时间的 20%；支持包括残差网络（ResNet-50）在内的不少于 3 种以上的机器学习模型推理计算，在加拿大高级研究所-10（CIFAR-10）数据集上的平均推理精度不低于 90%，在单核中央处理器（CPU）上对单张图像推理时计

算时间不高于 400 秒；在国产数据库系统中支持全加密数据过滤、聚合、排序等算法，支持 16 比特及以上数据的不限深度过滤及聚合，同时在 96 核 CPU 服务器上每 1 万行的商业智能计算测试（TPC-H）下过滤聚合基准计算时间不高于 60 秒。

有关说明：一流网络安全示范学院牵头申报，拟支持 2 项。需填写预申报书。

关键词：全同态加密，应用密码学，可信同态计算。

### **2.3 移动通信的云网端协同个人数据可信保护技术（共性关键技术类，定向择优）**

研究内容：针对移动通信环境个人数据安全保护需求，研究网络赋能的云网端协同个人数据可信保护技术体系；研究移动终端使能的个人数据可信备份与恢复、应急可信删除、多副本可信删除、可信存储管理、多模态密文检索等技术，支持个人数据可信管理；研究云侧控制的持续身份认证模型、数据协作可信授权、数据安全增量更新、数据使用知情管理等技术，支持个人数据可信访问；研究云侧平台的个人数据分类分级技术及平台自身的数据安全漏洞检测、监测、防护、审计技术，支持个人数据可信保障；研究移动网络设施支配的跨主体数据鉴权模型、个人数据流通模型、数据异常发现、取证和处置等技术，支持个人数据风险管控。

考核指标：研发移动终端安全插件，支持多主体身份凭证采集、数据流信息采集、数据管理使能控制、数据环境可信度量代

理等功能，支持多副本密文数据可信删除，准确率大于 95%，支持不少于 3 种模态数据的密文检索，检索时间平均损耗小于 15%；支持不少于 3 种行为生物特征的端对端模型持续认证，延迟小于 1 秒；云侧平台个人数据分类分级到 3~5 级，实现 100%覆盖，云侧平台数据安全检测、监测、防护误报率低于 0.3%，漏报率低于 0.5%，网络协议流量解析还原准确率不低于 99.99%；研制 1 套网络赋能的个人数据安全中台，支持个人数据的可信备份与还原、应急可信删除、数据鉴权、数据异常发现、数据取证和数据流阻断等功能，数据鉴权至少支持 3 种主体可信身份凭证，中台服务请求日均吞吐率达到亿级；所构建的云网端协同个人数据可信保护技术体系在 5G 手机、5G 网络和云平台的典型应用场景中应用，终端规模不少于 1 万台，至少形成 3 项行业标准草案。

有关说明：由国资委组织推荐，由企业牵头申报，配套经费与国拨经费不低于 3:1。

关键词：个人数据，可信管理，可信访问，可信保障。

#### **2.4 基于安全标识的敏感数据出境安全风险评估和预警技术 (共性关键技术类)**

研究内容：针对敏感数据出境安全风险评估与预警问题，研究海量数据安全标识技术、出境数据机构主体溯源技术，有效解决敏感数据出境全链条溯源、违规追踪等难题；研究数据出境的风险发生机理、面向机构主体的敏感数据出境安全风险量化评估模型，研究安全风险动态评估技术，构建风险要素和安全事件库，

提出敏感数据出境安全风险量化评估指标体系；研究机构主体风险采集与报送机制，机构主体间的风险传播机制，研究敏感数据出境异常事件分析、多源风险融合预警等技术，实现敏感数据出境预警，支撑相关部门进行敏感数据出境监管和风险应急处理。

考核指标：跨境业务服务的数据安全标识技术具备可溯源海量数据安全标识、安全标识抗损毁能力，可支持敏感出境数据相关机构主体全链条溯源和违规追踪等功能，支持一般数据管理和重要数据集中管控 2 种场景及其交互，2 种场景的安全标识识别率不低于 80%与 90%；数据出境安全风险量化评估模型支持上述 2 种出境数据场景，不少于 30 项关键风险要素，并构建相应的风险要素和安全事件库；敏感数据出境异常行为分析技术的分析准确率不低于 95%，形成的敏感数据出境预警技术误报率不超过 25%。

关键词：数据安全标识，数据出境安全，敏感数据出境监管，风险评估，风险预警。

## **2.5 面向数据可信确权与交易的安全保障技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对数据交易中的权益控制困难、侵权行为隐蔽、全程监管缺失等问题，研究数据交易的流通安全模型，以及数据的权益登记、可信发布、可控交易、权益转移等技术，构建数据交易的安全流转技术体系；研究数据确权、资产转移等技术，建立数据可信确权与交付机制，支持数据资产保护；研究全流程的细粒度状态控制、流转管控、使用控制权限可信处置与迁移等技

术，支撑数据交易中的受控使用；研究数据流转的全流程存证与审计、证据交叉认证与融合分析、违规判定与溯源等监测技术，支持数据攸关方的权益保障；搭建数据交易权益保障的技术验证平台。

考核指标：提出数据确权的量化指标体系，支撑数据确权与侵权判定；提出数据交易安全流转技术体系，包含数据交易全流程的细粒度状态控制、数据流转管控、使用控制权限可信处置与迁移等机制，可以支撑数据流转中的受控使用、全流程存证与审计、违规判定与溯源等功能；支撑违规行为判定不少于 10 种、准确率不低于 90%、在万级规模用户场景下违规判定时间为分钟级；搭建数据交易权益保障技术验证平台，该平台支持万级用户、10 种以上类别和十亿条以上数据，支持数据确权、权益转移、流转管控、使用控制、取证溯源等功能验证，并在数据交易平台、典型行业等开展示范应用。

关键词：数据交易，可信确权，受控使用，流转管控。

### **3 网络公害与内容治理**

#### **3.1 面向暗网抑制的普适性安全理论研究（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：研究基于输入感知的网络空间暗网流量分析共性特征提取，构建普适性暗网流量分析模型；研究超点中极低占比暗网流量的实时识别方法，结合高斯核函数和多模态优化等先进理论，突破高速网络空间中轻量化暗网流量实时识别技术瓶颈；

研究基于熵率原理等经典理论的多网络全时域连接预测与量化普适方法，突破动态网络空间安全量化的核心理论；研究面向真实环境的暗网陷阱模型部署多目标优化技术；基于图挖掘的暗网协议脆弱性关联分析，研究暗网端到端反侦测溯源机制。

考核指标：设计满足高速网络暗网流量实时检测的不少于 2 个不同普适理论模型，包括暗网流量特征提取模型和实时识别模型等；支持不少于 15 种主流暗网流量类型的检测，准确率不低于 98%；海量流量数据采样支持流平均 1 比特存储的在线超点检测，精度不低于 98%；在真实网络高速场景中暗网流量占比不高于 0.1% 的情况下对不少于 7 种业务类型的实际贝叶斯检测精度不低于 90%，响应时间不高于 0.2s，存储空间不高于 1MB；支持 20 个公开真实网络的全时域连接可预测和量化；支持真实网络暗网混淆协议下的陷阱技术，陷阱节点存活率不低于 95%；暗网的行为主体和隐藏服务器溯源数量不少于 10000 个，准确率不低于 95%。

有关说明：一流网络安全示范学院牵头申报，拟支持 2 项。需填写预申报书。

关键词：高速网络，暗网，共性特征，协议脆弱性。

### **3.2 面向终端的高隐蔽传播网络公害识别、取证和归因研究（基础研究类）**

研究内容：针对网络空间目的性更强、危害性更大、抗网络流分析能力更强的网络诈骗、网络黑灰产、网络勒索、恶意软件等高隐蔽传播网络公害，聚焦其监管分析难、取证处置难、行为主体

溯源难等问题，研究高隐蔽网络公害活动的匿迹机理和传播方法；研究面向终端的高隐蔽公害跨域特征分析与恶意样本无感化取证方法；研究异构终端资源受限下的微蜜罐主动诱导与取证方法；研究基于终端侧和网络侧分析相融合的高级网络公害行为智能识别模型与方法；研究高隐蔽传播网络公害全链条分析与行为主体谱系归因方法，支持国家网信与执法部门开展高隐蔽公害治理。

考核指标：支持加密、伪装等不少于4种网络公害匿迹机理刻画；针对物联网、智能手机等资源受限终端，支持木马远控、数据勒索、漏洞利用等5种以上高隐蔽公害识别、取证与归因，支持公害的微蜜罐捕获、恶意代码检测、跨域通道检测、端网融合检测、行为体归因，支持国家网信、执法等相关单位开展高隐蔽公害治理；实现X86、ARM等3种以上架构微蜜罐仿真，支持固件、协议、程序等5种以上模拟，仿真设备型号50种以上、欺骗模板50种以上；实现固件、内核、进程等3类伪装驻留恶意代码检测，支持iOS、安卓等系统中飞马（Pegasus）、捕食者间谍软件（Predator）、跟踪软件（Stalkerware）等高隐蔽间谍软件检测；能够感知终端侧模拟信号变化威胁，支持电磁、声音等3类跨域威胁检测，支持端侧硬件级的无感化检测取证；能够建立10种以上终端侧与网络侧威胁融合分析模型，综合检出精确率不低于90%、未知公害检出率不低于80%、误报率不超过3%；公害主体的归因准确率不低于90%。

关键词：高隐蔽传播网络公害，活动匿迹机理，带外分析，

无感化取证，微蜜罐取证。

### 3.3 超大规模网络中恶意流量跨域监管与智能处置（基础研究类）

研究内容：针对超大规模网络中恶意流量的监管效率不足和威胁处置能力缺失，研究面向恶意流量监管的全息动态评价机制，构建集网络测量、流量分析、跨域协同与溯源阻断为一体的恶意流量监管处置体系；研究基于可编程数据面的软硬件结合流量探针和主被动结合的跨域检测点部署优化方案，突破常数级时延、亚线性存储、高精度的流量检测技术瓶颈，实现千万级网络流的实时采样和多域协同测量；研究面向动态网络环境的强隐蔽性恶意流量应用及变种通信早期特征构建和识别方法，实现细粒度行为流量切分、稳定特征提取和早期行为流量精准识别；研究跨域恶意流量数据关联分析，设计预测性资源在线编排和基于知识迁移的未知恶意流量精准识别技术，实现百亿节点、千亿边的超大规模网络恶意流量多域协同分析；针对恶意流量跨域追踪和防御策略动态博弈困境，研究多种主动防御机制广泛协同的恶意流量牵引机制和动态优化防御策略，研究具备自适应性和高交互性的欺骗防御技术，实现威胁主体溯源和恶意流量有效阻断。

考核指标：支持 Tbps 级以上的城域网真实流量环境中恶意流量的检测与识别，支持规则可达 5000 万以上，识别时间不超过 2 秒，准确率不低于 90%；隐蔽恶意应用流量包括未知恶意流量识别准确率不低于 95%，支持恶意应用流量细粒度攻击行为识别，细粒

度攻击行为分析在动态网络环境下的行为识别准确率超过 90%；支持城域网级跨域节点不少于 300 个；支持至少 12 类恶意流量的溯源和阻断，包括勒索软件、僵尸网络、DDoS 攻击、手机恶意 APP、泄密流量、黑客攻击漏洞、恶意感染主机、VPN 隐藏流量、区块链中的恶意行为、DNS 恶意流量隧道、钓鱼和垃圾邮件等。

关键词：恶意流量检测，跨域协同，流量识别，智能处置。

### **3.4 基于群体认知的社交用户意图分析机理（基础研究类，青年科学家项目）**

研究内容：研究网络社交媒体中网民情感认知机理、观点扭转成因、社交网络结构和个体认知特征对群体观点形成的交互机理；研究低资源场景下的跨语言、跨文化网民立场检测和观点分析技术，支持显式立场检测、隐式立场检测和立场证据挖掘；研究多模态交互式对话场景下情感表征、动态情感识别、情感反转预测和情绪原因推理技术；研究社交媒体群体用户特定语用环境下的意图测绘和意图分析技术。

考核指标：针对政治、经济、文化等不同领域的舆情事件，提出网民情感认知机理不少于 5 个；小样本条件下社交媒体用户立场检测准确率大于 80%，多于 5 轮交互对话场景下的动态情感分析准确率大于 85%，情绪原因推理准确率大于 85%；构建特定语用环境下网民群体的意图测绘体系，不少于 20 个意图类别，意图研判准确率大于 70%，零样本意图研判准确率大于 60%。

有关说明：拟支持 2 项。

关键词：认知机理，意图研判，立场检测，动态情感分析。

### 3.5 跨社交媒体网络舆情传播与效果评估技术（共性关键技术类）

研究内容：研究跨社交平台多粒度舆情传播指标体系与演化模型；研究多语言跨平台的网络舆情事件传播溯源技术和传播范围预测技术；研究情绪原因辅助增强的信息内容筛选技术、分众化易感群体识别技术与信息推荐技术；研究面向影响力最大化的传播策略生成技术与传播效果度量评估技术；在舆情分析监测、虚假信息治理等典型场景开展技术验证。

考核指标：获取境内外不少于 50 个主流网络媒体平台数据源信息；提出多粒度网络舆情传播指标体系 1 套，不少于 40 个维度；境内外网络舆情传播溯源准确率不低于 90%，网络舆情传播态势预测准确率不低于 65%，支持不少于中文、英文等 5 个语种；构建不少于 10 种信息传播策略，面向特定主题的信息传播受众覆盖率不低于 60%，构建一套不少于 30 维的舆情传播效果度量指标体系；研发具有自主知识产权的社交网络舆情传播平台 1 套，在国家相关部门开展技术验证。

关键词：网络舆情传播，跨域溯源，易感人群识别，传播效果评估。

### 3.6 网络空间认知与情报推理关键技术研究（共性关键技术类，定向择优）

研究内容：研究新一代网络空间地理学理论体系，解决建立

网络空间保卫非对称能力的科学问题；以地理图谱为理论支撑，研究基于网络空间要素、结构及演变关系的动态认知关键技术，研究网络空间节点隐藏标签挖掘技术，研究服务依赖性影响因素和脆弱性测度体系框架，实现网络空间对抗环境认知图谱构建，为开展国家重要网络资产安全保卫、打击网络犯罪提供关键技术支撑；研究针对网络情报信息实体及隐蔽关联的智能推理关键技术，实现网络空间情报信息推理图谱构建，支撑面向网络安全案事件与情报信息的复杂推理和隐蔽推理；研究基于战术博弈及战力储备的攻防潜能对抗关键技术，实现网络空间攻防对抗能力图谱构建，形成涵盖网络空间监测、评估、决策、反制的攻防潜能技术体系。

考核指标：形成多学科交叉、跨空间融合的新一代网络空间地理学理论体系，网络空间时空数据可视化表达模型不少于 15 个，构建不少于 10 大类的网络空间节点识别标签库，提出基于服务依赖性测度的特定目标脆弱性感知指标体系和验证方法，支持多类、多域跨层级依赖性测度及动态关系跨域关联，维度不少于 50 维；形成全球网络空间认知原型系统，涵盖 IPv4、IPv6、云和工业互联网等典型网络设施，发现稳定活跃地址不少于 5 亿以及不少于 8 万 BGP 前缀的 IPv6 活跃地址集合，实现对网络空间等级保护目标、关键信息基础设施保卫目标和重点威胁源的识别；研制智能推理与调查分析原型系统，构建面向网络安全保卫实战的情报图谱，支持文本类威胁情报信息的融合，实现能够支

撑情报信息挖掘、案事件侦查调查、重大活动网络安保等不少于4类网络安全保卫业务、12种分析推理算法或模型；构建网络空间技术对抗原型系统，实现未知威胁监测、攻防策略评估、装备能力评估、战力储备等技术储备，支持不少于4类、12种攻击行为的应急处置与技术对抗，形成网络技术对抗技战法模型库；支持在公安行业开展技术验证。

有关说明：由公安部组织推荐，配套经费与国拨经费不低于3:1。

关键词：网络空间地理图谱，网络空间保卫，技术对抗，非对称能力。

## 4 新技术新应用安全治理

### 4.1 工业生产控制软件安全分布式众测技术（共性关键技术类）

研究内容：针对互联网众测环境下的人员可信、行为可控、成果可验等需求，研究安全测试人员实人认证管控及信誉评价机制、众测平台恶意行为阻断机制、众测平台漏洞自动化验证机制等；突破工业生产控制软件测试的物理与空间限制，研究工业软件测试环境构建技术、工控系统/物联网设备硬件虚拟化技术、工业生产设备仿真模拟与虚实互联技术，实现虚实设备统一管理调度配置方法；研究众测平台环境下的测试用例筛选技术，突破工业软件安全众测平台的漏洞测试有效性增强技术。

考核指标：支持对 X86/X86-64、ARM/ARM-64、MIPS、PowerPC 等不少于6种处理器架构的虚拟化仿真，支持 Windows、Linux、Android、FreeRTOS、VxWorks 等不少于4种操作系统类

型虚拟化部署，实现不少于 100 种工控系统/工业物联网设备硬件的虚拟化仿真；支持设备状态数字化展示与虚实互联反馈，实现对数据采集与监控系统（SCADA）、分布式控制系统（DCS）等不少于 20 种工业控制系统软件的仿真模拟；支持在运行测试前有效过滤无法触发漏洞的测试用例，对无法触发漏洞的测试用例的过滤率不小于 50%，对于可触发漏洞的用例的留存率不小于 90%，千次识别耗时不超过 1 秒；支持基于工业软件特性和众测人员需求的辅助生成测试用例技术，提供 3 种以上的众测人员需求配置方式，使众测过程中使用辅助技术生成测试用例的效率和生成的测试用例可触发漏洞的比例对比未使用该技术的提升一倍；在不少于 4 个工业细分行业开展应用；制定相关国家、行业或团体技术标准不少于 3 项。

关键词：工业生产控制软件，分布式众测，硬件虚拟化，测试有效性增强。

#### **4.2 智能驾驶系统融合安全防护与测试关键技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对智能驾驶系统缺少功能安全与网络安全一体化保障手段、大规模应用面临多种未知攻击和严峻安全威胁的问题，研究智能驾驶系统多层级网络与终端融合安全设计方法，突破基于系统软硬件漏洞及隐蔽后门的未知网络攻击检测技术，研发智能驾驶系统融合安全防护功能模块，突破智能驾驶信息物理系统功能安全和网络安全一体化保障技术，建立智能驾驶系统多

层级网络与终端融合安全测试验证平台，并在多种场景下开展智能驾驶系统融合安全关键技术验证与示范应用。

考核指标：构建面向智能驾驶系统多层级网络与终端的融合安全技术体系，可识别网络攻击不低于 20 种，类型覆盖 DDoS、提权、伪装、终端环境感知欺骗、控制劫持等常见网络攻击及未知网络攻击，平均准确率不低于 98%，平均误报率不高于 5%；融合安全防护功能模块具备智能驾驶核心算法、存储数据、运行机制的主动隐匿和动态调节等功能；融合安全测试验证平台包含漏洞库、测试工具库、测试规范集等模块，支持测试环境虚拟化，支持特权升级、注入、渗透、预置后门、感知欺骗、控制劫持等可用性 & 安全性测试，攻防测试方式不少于 20 种，并具备攻击链可视化功能；智能驾驶系统融合安全技术与测试验证平台示范应用场景不少于 3 类；制定相关国家、行业或团体技术标准不少于 3 项。

关键词：智能驾驶系统，融合安全，功能安全和网络安全一体化保障。

#### **4.3 高可靠实时互联的工业无线网络安全关键技术（共性关键技术类）**

研究内容：针对智能制造无线互联与安全关键工业领域高安全本质要求的矛盾，研究工业无线网络安全风险传播途径和传播机理，建立基于知识图谱的工业无线网络威胁感知、风险分析与攻击链阻断方法；研究工业无线测控设备物理特征的提取、呈现

和度量机制，设计基于设备物理特征的身份认证、时变密钥生成及一致性校验等链路层安全防护技术；研究基于可信数据链的分布式共识机制、加密机制、数据共享和完整性保障技术，构建基于分布式可信数据链的工业无线网络安全一体化防护技术体系；研制工业无线网络安全射频芯片、安全通信与监测设备及全生命周期安全管控系统，在安全关键领域典型智能制造车间开展应用验证。

考核指标：建立面向制造装备互联的内嵌式工业无线网络安全技术体系，能够检测和防御数据破解、链路监听、通信干扰、报文伪装等4大类风险不少于10种，检测准确率达到95%以上，在保证安全前提下，百点规模网络达到99.99%可靠性，时延不大于20ms；研制自主可控的安全无线射频芯片及协议栈1套、工业无线网络安全通信与监测设备不少于5种、全生命周期安全管控软件1套，搭建工业无线网络安全攻防实验平台；在典型安全关键行业的应用验证不少于3项，其中，在军工领域应用验证不少于1项；制定相关国家、行业或团体技术标准不少于1项。

有关说明：申报单位及参研单位应具备相应资质，具有军工无线技术应用经验的单位优先。

关键词：智能制造装备，工业无线网络，全生命周期安全。

#### **4.4 支撑海量终端接入与跨安全域协同的云安全防御关键技术研究（共性关键技术类）**

研究内容：本项目针对能源、制造等重点行业产业链上下游

通过多云/云边跨域协同带来的多业务主体安全水平不一、身份难鉴别、威胁易扩散、数据易泄露等问题，围绕关键基础设施产业链多业务主体的跨域安全协同场景，研究多云/云边协同的创新计算模式和网络安全体系，实现多主体业务、数据、资源协同与安全防护统一管理；研究自主可控、安全可信的云基础设施关键技术，形成支持云边端多维协同的安全基础设施；研究面向边缘设施的轻量级密码和安全检测技术，构建边缘弱算力环境下的云边安全通信机制，实现高效的终端可信接入与可靠的云边数据协同；研究分布式资源协同网络多点跨域服务网络安全监测和主动防御关键技术，构建覆盖多云/云边的网络安全协同防御体系；基于能源、制造等重点行业关键信息基础设施开展跨域资源协同的云安全示范应用。

考核指标：制定支持跨异构云平台、跨数据中心、多站融合、云边协同等环境的分布式资源协同网络安全体系，形成国际/国家标准提案 1 项；支持云边协同业务场景不少于 4 项；构造面向边缘弱算力环境的轻量级密码算法和安全检测能力，接入身份认证运算处理能力不小于 10000 次/秒，接入加密处理能力不小于 20000 次/秒，实现安全、可靠、高效的云边数据协同；实现跨域网络终端、节点的安全统一监测，单一代理（Agent）能够实现对硬件服务器、虚拟机、容器各类工作负载进行统一管控，处理器资源占用不超过 50%，完成不少于 5 种典型多云/云边协同场景下的安全防护和隔离应用验证；与现网环境对比，同等攻击场景下，

攻击者通过边缘主机横向移动到内部靶标主机的时间成本增加 3 倍，内部暴露端口数减少 50%，东西向攻击面减少 30%；支持能源、制造等重点行业示范应用场景不少于 3 种，接入终端类型不少于 10 种，接入数量不少于 50 万。

关键词：多云/云边协同，云安全，防御，隔离。

## “网络空间安全治理”重点专项 2023年度“揭榜挂帅”榜单

为深入贯彻落实国家科技创新有关部署安排，切实加强创新链和产业链对接，“网络空间安全治理”重点专项聚焦国家战略亟需、应用导向鲜明、最终用户明确的重大攻关需求，凝练形成2023年度“揭榜挂帅”榜单，现将榜单任务及有关要求予以发布。

### 一、申报说明

本批榜单拟启动1个项目，共拟安排国拨经费不超过2200万元。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名负责人，每个课题设1名负责人。

榜单申报“不设门槛”，项目牵头申报和参与单位无注册时间要求，项目（课题）负责人无年龄、学历和职称要求。申报团队数量不多于拟支持项目数量的榜单任务方向，仍按程序进行项目评审立项。明确榜单任务资助额度，简化预算编制，经费管理探索实行“负面清单”。

### 二、攻关和考核要求

揭榜立项后，揭榜团队须签署“军令状”，对“里程碑”考核要求、经费拨付方式、奖惩措施和成果归属等进行具体约定，并将榜单任务目标摆在突出位置，集中优势资源，全力开展限时攻关。项目（课题）负责人在揭榜攻关期间，原则上不得调离或辞

去工作职位。

项目实施过程中，将最终用户意见作为重要考量，通过实地勘察、仿真评测、应用环境检测等方式开展“里程碑”考核，并视考核情况分阶段拨付经费，实施不力的将及时叫停。

项目验收将通过现场验收、用户和第三方测评等方式，在真实应用场景下开展，并充分发挥最终用户作用，以成败论英雄。由于主观不努力等因素导致攻关失败的，将按照有关规定严肃追责，并依规纳入诚信记录。

### 三、榜单任务

#### 1. 油气管网控制系统跨域多维安全智能预警关键技术（共性关键技术类）

研究内容：在国家油气输送“全国一张网”的发展格局下，针对油气管网生产调度数据采集与监视系统覆盖全国、广域互联、跨域联动的特点，分析油气管网面临的多源网络安全威胁与管道本体及生产设施运行风险影响因素，研究网络攻击渗透与管网系统物理破防内在因果机理；研究广域集中调控模式下，海量数据的完整性和机密性保护技术以及网络可信接入技术和动态安全防护机制；研究融合信息安全和功能安全的跨域远控分布式场站本质安全技术 with 数据采集与监控系统（SCADA）内生防御主动安全策略；研究油气管网控制系统多维安全融合风险预警与智能决策技术，研制广域多维安全风险态势感知与智能安全管控平台；研究广域大系统安全仿真测试技术，构建油气管网多维安全一体化

测试验证平台。

考核指标：研制广域多维安全风险态势感知与智能安全管控平台，具备多源异构现场数据接入、融合功能安全和信息安全技术的实时一体化风险评估、智能预警、分级决策等功能，支持至少 6 类工业数据协议，攻击事件发现到报警或隔离响应时间不超过 200ms，误报率不超过 5%，在国家油气管网完成现场应用验证。研制油气管网多维安全一体化测试验证平台，具备攻击渗透时空演化与管网物理破防内在机理、跨域安全融合等关键技术验证能力，在国家油气管网完成现场应用验证。申请发明专利不少于 3 项，制定相关国家、行业或团体技术标准不少于 2 项。

有关说明：由企业牵头申报，配套经费与中央财政经费比例不低于 3:1。研发时限为 3 年，立项 1 年和 2 年后开展“里程碑”考核。

榜单金额：不超过 2200 万元。

关键词：多维安全，智能预警，风险态势感知，油气管网。

## “网络空间安全治理”重点专项 2023 年度 项目申报指南和榜单形式审查条件要求

申报项目须符合以下形式审查条件要求。

### 1. 推荐程序和填写要求

(1) 由指南规定的推荐单位在规定时间内出具推荐函。

(2) 申报单位同一项目须通过单个推荐单位申报，不得多头申报和重复申报。

(3) 项目申报书（包括预申报书和正式申报书，下同）内容与申报的指南方向相符。

(4) 项目申报书及附件按格式要求填写完整。

### 2. 申报人应具备的资格条件

(1) 项目（课题）负责人应为 1963 年 1 月 1 日以后出生，具有高级职称或博士学位。

(2) 青年科学家项目负责人应具有高级职称或博士学位，男性应为 38 周岁以下（1985 年 1 月 1 日以后出生），女性应为 40 周岁以下（1983 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。

(3) 受聘于内地单位的外籍科学家及港、澳、台地区科学家可作为项目（课题）负责人，全职受聘人员须由内地聘用单位提供全职聘用的有效材料，非全职受聘人员须由双方单位同时提供

聘用的有效材料，并作为项目预申报材料一并提交。

(4) 参与重点专项实施方案或本年度项目指南编制的专家，原则上不能申报该重点专项项目（课题）。

(5) 诚信状况良好，无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。

(6) 中央和地方各级国家机关的公务人员（包括行使科技计划管理职能的其他人员）不得申报项目（课题）。

(7) 项目申报人员满足申报查重要求。

### **3. 申报单位应具备的资格条件**

(1) 在中国大陆境内登记注册的科研院所、高等学校和企业等法人单位。国家机关不得作为申报单位进行申报。

(2) 注册时间在2022年6月30日前。

(3) 诚信状况良好，无在惩戒执行期内的科研严重失信行为记录和相关社会领域信用“黑名单”记录。

### **4. 本重点专项指南规定的其他形式审查条件要求**

(1) “揭榜挂帅”项目（课题）负责人无年龄、学历和职称要求，项目牵头申报和参与单位无注册时间要求。

(2) 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。

**本专项形式审查责任人：张炜**

---

抄送：科学技术部高技术研究中心、工业和信息化部产业发展促进中心、中国科学技术信息研究所。

---

科学技术部办公厅

2023年6月1日印发

---