

“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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 3 , 加载工装位置误差 $\leq 0.5\%$; 获得软件著作权 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 1 项；制定国家或行业或团体标准 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 3 项，制定国家或行业或团体标准 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 2 项，制定国家或行业或团体标准 ≥ 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管理需求，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 ≥ 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 ≥ 3 项；制定国家或行业或团体标准 ≥ 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、基于协作式的新型工业软件平台开发技术等关键技术 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 6 项，制定国家或行业或团体标准 ≥ 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、端一边一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 ≥ 10 项、决策模型库 ≥ 10 项、微服务软件构件 ≥ 3 套；大规模定制生产模式异常检测并发数 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≤ 200 fs、空间分辨率 ≤ 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 ≥ 10 项，制定国家或行业或团体标准 ≥ 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“虚一实”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 ≤ 20 秒，1000 次仿真试验时间 ≤ 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 ≥ 50 个，覆盖车间类型 ≥ 5 种，内嵌优化算法类型 ≥ 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 ≥ 5 项；制定国家或行业或团体标准规范 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 10 项；制定 MOM 相关国家或行业或团体标准 ≥ 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 产品研发过程多层级数字孪生技术（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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 5 项，制定国家或行业或联盟标准 ≥ 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 ≥ 5 项；撰写专著1部；获得软件著作权 ≥ 5 项，制定相关国家或行业或联盟标准 ≥ 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 ≥ 5 项，研发产业链协同数字生态支撑构件 ≥ 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 ≥ 5 项，制定相关国家或行业或联盟标准 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 10 项，获得软件著作权 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 7 种，可复用的领域模型 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 5 项，制定国家或行业或联盟标准 ≥ 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 ≥ 5 项，研发相关软件构件 ≥ 10 个，获得相关软件著作权 ≥ 10 项，制定国家或行业或联盟标准 ≥ 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 ≥ 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定求解策略；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 ≥ 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 ≥ 10 项，制定国家或行业或团体标准 ≥ 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和大规模数据管理、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 ≥ 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 ≤ 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 ≥ 10 项，制定国家或行业或团体标准 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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 ≥ 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