

“工业软件”重点专项

2023 年度项目申报指南

(征求意见稿)

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、高品质曲面建模和同步建模，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。

有关说明：形成泛在计算环境下产品协同设计的三维 CAD 软件架构开源软件代码库。

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 $\geq 50\%$ ；完成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。

有关说明：无。

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；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工业知识图谱，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工业知识图谱，支持千万级知识条目处理；获得软件著作权 ≥ 1 项。

有关说明：无。

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、网络化嵌入式产品数据管理软件架构等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发中进行原理验证。

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1分钟；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发中进行原理验证，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。

有关说明：无。

关键词：产品数据管理，嵌入式产品，产品全生命周期

1.5 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，研究支持实体模型和网格模型混合建模的软件架构；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（2022 版）提高 10%；支持的异常处理类型不少于 ACIS（2022 版）异常处理类型的 90%；数学库功能覆盖率达到 ACIS（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 1000 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；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）曲

面转二次曲面；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/秒级。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：揭榜挂帅。

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

1.6 CAE 通用求解器（共性关键技术类）

研究内容：针对仿真分析中多种类别网格高质量划分、高精度高效求解、分析结果数据高质量后处理等问题，研究几何模型导入、清理与修复、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。研究面向高效数字计算数据结构 and 大规模数据管理、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的求解、千万量级设计变量以上大规模非凸优化问题求解等关键技术及其算法；构建高效通用数值计算算法库；研发 CAE 通用求解引擎。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技术方法及其算法；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、科学数字计算、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构件设计算法，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字模拟构件。

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，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，高阶网格）等；支持常用材料本构模型；串行四面体生成效率百秒千万单元；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；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，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，支持全类型非线性集成分析、结构优化百万设计变量灵敏度分析、亿级自由度规模的结构响应分析。高性能多场多介质非线性数字模拟构件，涵盖欧拉、拉格朗日、ALE（任意拉格朗日欧拉）、SPH、拉格朗日-欧拉、拉格朗日-SPH 等求解算法，适配国产 E 级超算，支持万核级并行和十亿级网格。获得软件著作权 ≥ 10 项，制定国家或行业或团体标准 ≥ 5 项。典型示范应用 5 个。形成开源软件代码库。

有关说明：揭榜挂帅。

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，特征值分析，非凸优化，分析数据可视化，智能特征提取，智能评测

1.7 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；研究大型装备电磁场时-频联合并行仿真算法，和高精度电磁场-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不大于6dB，支持千核、亿级网格以上尺度的电磁环境适应性并行计算，支持大型装备电磁环境适应性的时、空、频、能等4域协同设计与优化；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；获得软件著作权 ≥ 3 项，制定国家或行业或团体标准 ≥ 3 项。

有关说明：无。

关键词：装备，电磁环境适应性，仿真优化软件

1.8 电机装备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”混杂动力学表征需求，研究电机装备领域通用的广义混杂动力学建模方法，研发电机装备器部件及整体装备模型；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与优化设计平台；突破分布式环境下模型编

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，仿真速度相比时间驱动算法在相同精度下平均提高 10 倍以上；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；获得软件著作权 ≥ 2 项，制定国家或行业或团体标准 ≥ 3 项。

有关说明：无。

关键词：电机装备仿真，混杂系统，事件驱动，多时间尺度

1.9 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管理技术，建立复杂装备关键部件-系统-整机的性能基线；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监测、维修预测与运维服务。

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，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1套，包含部件-系统-整机的故障诊断和预测性维护模型不少于20种；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、FMEA分析等不少于10种故障预测功能，故障预测预警准确率不低于90%，在能源装备、航空航天、轨道交通、工程机械等不少于3个行业的典型装备上进行应用验证；获得软件著作权 ≥ 3 项；制定国家或行业或团体标准 ≥ 3 项。

有关说明：无。

关键词：复杂装备，健康监测，故障预测，数据融合

1.10 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关键技术 ≥ 5 项，研发1套复杂产品基于模型的系统工程建模工具软件，具备需求全周期闭环管理与跟踪验证能力，可管理不少于20万条的需求条目；支持UML、SysML、UPDM等至少三种以上主流建模语言标准，至少5种逻辑仿真和3类异构模型集成仿真功能，支持500个以上模型元素的仿真求解；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：无。

关键词：模型驱动，系统架构，仿真设计，统一建模

1.11 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，围绕船舶协同设计、协同制造核心业务需求，研究船舶产品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组织与管理、船舶上下游一体化、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、面向船舶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、船舶产品全生命周期一体化数据管理、船舶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，软件系统具备千万级零部件、十亿级设备间接口数据管理能力，并发用户数不小于 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：揭榜挂帅。

关键词：船舶，产品生命周期，协同管理，数据集成

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机器学习；研究面向制造过程工艺、物流、物料等全要素智能感知、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处理及分析的软件架构，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与封装、制造系统智能优化决策等理论方法和技术不少于 5 项；开发大规模分布式多源异构数据采集、处理与应用平台原型 1 套，支持多源异构

数据融合、应用表征、优化决策等功能；获得软件著作权不少于 3 项。

有关说明：无。

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，及融合制造装备、控制系统等物理实体和管理、资源等要素的抽象建模方法，研制装备、单元、产线等不同层次统一信息模型及信息交互技术、端-边-云协同的分层信息交互方法；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：提出面向制造过程的统一建模方法；突破过程智能控制策略生成方法、过程控制仿真等关键技术不少于 3 项；研制端-边-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，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。

有关说明：无。

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、可重组产线等要求，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；研究异常工况诊断与自愈控制技术；研究 IT/OT/DT 融合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：提出智能工厂物流管控基础软件架构，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、物流优化决策等方法 and 关键技术不少于 5 项；撰写相应专著 1 部，开发支持 IT/OT/DT 融合、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。

有关说明：无。

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，编写专著 1 本，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 $\geq 95\%$ ；在离散制造行业应用验证，获得软件著作权 ≥ 3 项。

有关说明：无。

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、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，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 $\geq 95\%$ ，编写专著 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 ≥ 5 项；研发分布式质量和能效管控原型系统，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，实现产品合格率提升 10%、综合能效提升 $\geq 15\%$ ，制定国家或行业或团体标准 2 项。

有关说明：无。

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，开发三维复杂微细结构激光加工等专用工艺软件。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；构建激光参数智能化设计和精准调控数据库。

考核指标：开发先进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；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。

有关说明：无。

关键词：微细激光加工，多时空尺度耦合，仿真/监测

2.7 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，研发机械制造系统与过程的优化、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，具备虚实融合和人机交互、过程控制仿真等功能，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，覆盖车间类型超 ≥ 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；制定国家或行业标准规范 ≥ 5 项。

有关说明：由企业牵头申报。

关键词：工厂建模仿真，人机交互，虚实融合，混合建模

2.8 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”协同环境下工厂运维一体化 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、交互技术，提出制造过程数据交互标准，建立统一的制

造执行、物流调度、质量管理等数据模型；研究基于数据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、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，在航空航天、船舶、工程机械等不少于 1 个行业应用，增强协同制造运营能力；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。

有关说明：无。

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：数字孪生技术作为智能制造的关键使能技术之一，是企业数字转型、提升核心竞争力的重要基石。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、安全管控不足等关键问题，建立高效可控工业数字孪生通用理论和技术架构，开展数据/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研究，突破产品数字孪生体协同设计、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/服务标准化应用原型系统，在航空航天、轨道交通等领域开展2个及以上典型场景部署应用验证。

有关说明：无。

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体系的重大需求，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 5 项以上关键技术，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、验证与分析等工具不少于 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 个领域开展验证；获得软件著作权 ≥ 5 项，制定国家或行业或联盟标准 ≥ 2 项。

有关说明：无。

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：针对典型制造领域在产业链层面的协同需求，基于工业互联平台，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与制造协同的采选、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；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；研发实现供应链集成的制造与服务协同管控原型系统；开展2个及以上典型制造行业链主企业技术应用验证。

有关说明：无。

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：围绕产业价值链创新数字生态、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：形成产业链协同数字生态理论及基于多价值链企业群业务协同的价值网模型；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构建的前后累计超 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服务多价值链的原型验证。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。

有关说明：由能聚集多个价值链数据资源、服务多个价值链的优势单位牵头申报。

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：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/行业/联盟标准 ≥ 30 项；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；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 ERP 自主品牌软件 ≥ 3 个，相应的 ERP 全国市场份额 $\geq 35\%$ ；面向大规模制造产业，接入自主第三方多价值链协同平台 ≥ 1 个，形成基于多类型多核心企业上下游协作构建的超亿条多价值链协同业务数据及数据智能服务资源；建立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，包括与应用企业群无关联关系的第三方平台研发运营企业；典型行业示范应用企业 ≥ 50 家。

有关说明：由技术优势单位联合国内领先的主流 ERP 厂商和优势第三方产业价值链协同平台研发和运营服务商，组成产学研相结合的团队申报。

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：针对云化 ERP 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、服务柔性动态重构、领域知识自动化等技术；研究基于数字工人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端到端流程自动化和智能化，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，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、服务动态构建、应用服务组装式快速构造、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，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，对标 SAP 等先进产品功能覆盖度 $\geq 95\%$ ，支持并发用户 ≥ 10000 ，在航空航天、船舶、工程装备等 3 个以上行业 15 家大型集团企业国产环境中应用验证；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：由国内领先的主流 ERP、企业应用软件厂商牵头申报，在航空航天、船舶、工程装备等大型集团企业国产环境中完成应用验证。

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；研究网状结构产业链价值链协同和优化、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工业软件平台，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：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/行业/联盟标准 ≥ 5 项；面向大规模制造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；基于多类型多核心企业上下游协作构建多

价值链协同业务数据资源，形成前后累计上万家各类企业超亿条业务数据资源，支撑网状结构产业价值链的多链协同和服务；建立第三方运营服务体系，平台实现第三方运营，平台运营企业与平台应用核心企业及其上下游协作企业群无关联关系；面向大规模制造离散制造业，构建支撑网状结构产业价值链协同和服务应用场景 ≥ 5 个，各类应用企业群累计超 2000 家，企业间协同效率提升 $\geq 10\%$ 。

有关说明：由从事网状结构产业价值链协同的技术优势单位联合从事第三方云平台研发建设及运营服务并具有第三方运营资质的企业，组成产学研相结合的团队联合申报。

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、发电装备典型产业聚集区域开展应用。

考核指标：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，产业链、产业集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，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，服务不少于 4 个省市的 4 个不同典型产业集群企业 1000 家以上，培训自主工业软件应用人才 10000 人次以上；制定国家或行业或联盟标准 5 项以上。

有关说明：本指南方向由地方科技主管部门推荐，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）

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、汽车产业集群开展应用。

考核指标：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，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，培训自主工业软件应用人才 10000 人次以上；制定国家或行业或联盟标准 5 项以上。

有关说明：本指南方向由西部地区各省科技主管部门推荐，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）

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、电气装备行业开展示范应用，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价值链协同和创新理论，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，支持制造资源、制造能力、产业链集群供应链信息、销售等业务动态共享和优化，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，培训专业应用人才 10000 人次以上；制定国家或行业或联盟标准规范不少于 5 项。

有关说明：本指南方向由东北地区各省科技主管部门推荐，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