

“工业软件”重点专项 2024 年度 项目申报指南建议

(征求意见稿)

1 工业软件及数字生态前沿技术

1.1 基于机器/数据/人相连接的人机混合增强智能技术(基础 研究类)

研究内容: 针对工厂制造过程或实时运维服务过程中基于机器/数据/人相连接的工业智能开发应用需求, 研究基于工业互联网和机器/数据/人相连接的价值链协同模式, 连通机器/数据/人三端的多源异质信息融合技术, 构建支持制造大数据跨域跨模态关联、专家经验知识推理的工业知识图谱; 研究以工业大模型为中枢的工业智能体协同计算与控制框架, 实现工业智能体环境自感知/自学习的运维策略优化和知识更新, 支持融合专家经验和数据分析的工业制造或运维过程; 研究支持多重网络化工业智能体协同决策的人机交互式自演进技术, 实现专家经验与智能算法混合驱动的人在回路智能化工业制造或运维调度, 形成人机混合增强智能技术体系; 研发机器/数据/人相连接的工业智能体人机混合增强智能服务构件, 面向工业制造或运维中的多重网络化人机协同场景开展应用验证, 实现人机混合增强的业务信息处理、专家知识融合、人在回路制造或运维调度。

考核指标：形成基于机器/数据/人相连接的互联智能和人机混合增强智能模式和技术体系，研发适用于多重网络环境的工业智能体人机混合增强智能服务构件 ≥ 3 类，面向3类及以上覆盖本项目全局的应用场景开展验证，实现人机混合增强的制造或运维信息处理、业务和专家知识融合、场景可视化生成和人在回路制造或运维调度；突破连通机器/数据/人三端的多源异质信息融合技术、以工业大模型为中枢的工业智能体协同计算与控制框架、支持多重网络化工业智能体协同决策的人机交互式自演进技术等关键技术 ≥ 3 项；在人机混合增强智能技术体系驱动下，工业智能体对制造或运维故障检测的效率提升 $\geq 40\%$ ，协同完成生产任务的效率提高 $\geq 30\%$ ；支持 ≥ 5 类工业软件数据跨域跨模态融合、形成十万节点的工业知识图谱；支持大模型对 ≥ 100 套各类工业软件的级联控制；申请国家或取得行业/团体标准 ≥ 3 项；获得软件著作权 ≥ 5 项。

1.2 基于人/物/业务相联结及跨平台融合的工业互联智能技术（基础研究类）

研究内容：针对产业链供应链协同过程中基于人/物/业务相联结的工业智能开发应用需求，研究基于工业互联和人/物/业务相联结的价值链协同模式，产业价值链多链融合环境下人/物/业务相联结的智能协同机制，实现产业全价值链超链智能决策、精益制造与精准服务新模式；研究基于工业互联网的跨平台人/物/

业务全要素表征模型、互联结构模型与数据模型，形成人/物/业务全要素互联模型库；研究基于工业互联网的跨域人/物/业务全要素数据采集、适配与治理技术，形成全要素互联结构自适应的多模态数据治理技术体系，研究全域互联业务态势智能感知、全要素协同调度优化和人机协同决策工业智能体技术，建立价值导向的工业互联智能评价体系；研发涵盖供应/生产/营销/服务/物流的产业价值链多层次工业互联智能应用，形成基于“云-边-端”工业互联网的工业智能标准化框架和工业智能体构件库，支持嵌入企业 ERP 等业务系统运行；选择企业智能决策、生产精益制造、产销精准服务等场景，在钢铁、医药、新能源等产业开展应用验证。

考核指标：形成基于人/物/业务相联结及跨平台融合的工业互联智能模式和技术体系、互联智能标准化框架、多层次工业智能应用及智能评价体系，突破人/物/业务全要素跨域跨平台互联数据治理技术与自学习自进化工业智能体技术，申请发明专利 ≥ 5 项；获得软件著作权 ≥ 5 项；形成人/物/业务全要素互联工业智能体构件库，包含全要素互联智能模型 ≥ 20 个、多层次工业互联智能应用 ≥ 30 个，实现智能决策、精益制造与精准服务新模式，降低生产成本1%；在5类/家产业价值链链主企业开展验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 3 类，产业价值链增值率提升 $\geq 5\%$ ，申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 3 项。

1.3 支撑多价值链协同/优化/管控的群体智能技术(基础研究类, 青年科学家项目)

研究内容: 针对多价值链协同/优化/管控的需求, 探索人工智能技术在面向多价值链智能体协同建模上的应用, 使分布于不同价值链上的智能体能够协同工作; 研究多价值链工业智能体间复杂关联关系和相互作用的群体智能基础理论及模型, 实现多价值链间智能体协同感知的群体智能技术; 探索关联大模型增强的多价值链关联鲁棒学习模型; 研究面向多价值链的工业群体智能复杂关联高效学习与微调方法; 突破工业群体智能体复杂关联协同建模、鲁棒高效学习等关键技术, 开发基于群体智能的预测模型, 准确预测多价值链中各环节的需求, 提供实时、准确的决策支撑信息, 进行技术和系统的应用验证。

考核指标: 建立 1 套面向多价值链的工业群体智能体复杂协同关联建模与鲁棒高效学习的标准化技术体系, 突破相关关键技术 ≥ 4 项, 申请发明专利 ≥ 4 项, 获得软件著作权 ≥ 1 项; 研发基于图关联大模型的多价值链智能体协同与优化的算法和模型 ≥ 6 个; 研发相应的应用原型系统, 在智能制造、供应链管理等领域 ≥ 2 个典型场景进行技术验证。

1.4 产品数字孪生体开放式交互设计和仿真技术(基础研究类)

研究内容: 围绕复杂装备设计过程精准仿真的迫切需求, 研

究数据与物理复合驱动的装备多维高保真数字孪生体构建方法，实现装备设计性能精准高效计算；研究装备制造三维数据模型再现与加工曲线生成技术，建立装备制造质量与设计参数的映射关系，实现制造信息反馈设计的数字孪生体迭代；攻克装备数字孪生体协同设计/数据管控/安全验证技术，构建支撑装备全生命周期实时交互感知的智能孪生体，实现面向装备设计的数字孪生虚实闭环反馈；研发产品数字孪生体开放式交互设计和仿真再现平台，并在大型风电机组、重型燃气轮机、高端数控机床等复杂装备中开展应用验证。

考核指标：突破复杂装备数字孪生虚实闭环反馈、仿真求解、实时再现、跨域映射等 ≥ 7 项关键技术，实现复杂装备全生命周期95%关键参数虚实闭环反馈的核心指标；数字孪生仿真一致性 $\geq 90\%$ ，全局性能映射误差 $\leq 5\%$ ；支持复杂装备全生命周期可视化交互感知，虚实数据同步时滞 < 1 秒，帧频 > 30 帧每秒；研发产品数字孪生体开放式交互设计和仿真再现平台，实现与领域内相关设计分析软件的数据交互与闭环反馈，并在大型风电机组、重型燃气轮机、高端数控机床等 ≥ 3 类复杂装备中开展验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 3 类；出版相关专著1部；申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 10 项。

1.5 面向工业物联网的多模态大数据建模分析技术（基础研究类）

研究内容：针对工业物联网中多模态工业大数据要素流通与跨域管理需求，研究工业物联网跨层级、跨领域、跨模态数据建模、嵌入式表征与要素流通理论，挖掘工业物联网碎片化多模态数据价值；研究基于工业大模型的工业物联网多模态数据生成与融合方法，以应对工业多层次多领域数据长尾分布挑战；研究基于工业大模型的数据分析流程与方法，支撑多领域、多层次知识检索、智能问答、场景分析、设备状态预测、资源优化决策与异构设备协同控制等；研究基于工业大模型的多模态数据分类管理机制，解决敏感数据按规分级难题；构建工业物联网开放数据全生命周期管理模式与数据价值目标驱动的跨企业数据共享平台，支撑运维管理、数据分析和挖掘等功能，形成基于微服务的开放数据管理软件架构，实现涵盖数据采集、存储、加工、应用等全生命周期的跨企业协同管理，在汽车制造、航空航天等离散制造行业进行应用验证。

考核指标：围绕工业物联网数据生命周期和数据要素产业价值链，研发基于工业大模型的开放数据管理与要素流通平台软件，构建知识与数据双驱动的多模态大模型，参数量 ≥ 120 亿，建立工业物联网智能运维与调度算法库 1 个包括故障诊断、寿命预测、算力运维、生成调度、产能优化等算法 20 个，基于可信

交换与数据价值的跨企业数据协同管理系统 1 个，支持接入工业协议 ≥ 20 种、数据类型 ≥ 20 种、数据库/数据湖 ≥ 10 种；支持 ≥ 5 类场景的智能分析与优化决策；开发基于工业大模型的多模态数据分析组件 ≥ 10 个，构建工业多模态标注样本数据集和领域知识 ≥ 1 亿条；在汽车制造、航空航天等离散制造行业应用验证，实现 ≥ 30 家企业之间的数据要素流通和 ≥ 10 家核心企业之间数据价值目标驱动的协同管理，面向 3 类及以上覆盖本项目全局的应用场景开展验证；申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 5 项；申请国家或取得行业/团体标准 ≥ 3 项。

1.6 流程工业端-边-云协同的交互式智能控制系统技术（基础研究类）

研究内容：围绕流程型智能制造的工业生产过程高性能智能化控制和工业控制系统自主可控重大需求，研究人工智能与工业互联网驱动的端-边-云协同的新型交互式智能控制系统新架构；研究复杂动态和非线性系统的高性能智能控制系统设计技术；研究在运行条件发生变化、未知非线性动态特性和不确定干扰变化的情况下，控制系统自适应自学习自优化技术；突破传统工业金字塔结构的信息交互与设备互操作性方法；研发高性能智能控制与自适应自学习自优化应用软件，利用自主可控工业服务器，研制端-边-云协同新型交互式智能控制系统；在矿业、煤炭、冶炼等典型流程工业开展技术验证，形成端-边-云协同的交互式智能

控制的新模式。

考核指标：研发基于自主可控的端-边-云协同新型交互式智能控制系统，云-边响应时间 ≤ 2 秒，边-端响应时间 ≤ 0.5 秒，支持回路控制、性能评估、参数整定、自优化、自学习等10类控制功能及 ≥ 10 种算法；突破高性能智能控制系统设计，控制系统自适应自学习自优化、信息交互与设备互操作性等 ≥ 5 项关键技术；申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 5 项；申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 3 项；在矿业、煤炭、冶炼等典型流程工业 ≥ 3 个覆盖本项目全局的应用场景进行技术验证。

1.7 信息物理实体融合驱动的生产管控一体化技术（基础研究类）

研究内容：针对当前生产管控技术与装备制造业新型制造模式无法适配、新型工艺装备信息物理融合多源异构等问题，研究面向控制系统设备资产的抽象建模方法，构建面向制造过程多优化目标与物理实体融合的多领域统一信息模型；研究制造过程分段分层信息交互方法，设计多视图复合制造过程映射机制，研发制造流程可重构、管控语义可交互、数字孪生可融合的信息交互模型与软件工具；研究适配岛式装配、原位制造、可重构制造等新型柔性制造模式的制造对象、工具、工艺、管理调度的描述方法与模型转换规则，研究柔性数字化制造规则（MPM）全局化理论，研发精益理论与人工智能融合驱动的生产管控优化决策模型

与算法；研究信息物理系统融合的生产管控数据交换标准，研制适配复杂装备制造行业的生产管控一体化平台软件。

考核指标：形成面向多优化目标的控制系统设备信息物理融合建模工具 1 套，构建信息物理模型 ≥ 300 个，覆盖典型工艺 ≥ 30 种；面向岛式装配、原位制造、可重构制造等 ≥ 5 类新型制造模式，研发分段分层信息交互模型 ≥ 10 个、制造过程优化运行算法组件 ≥ 10 个；研发先进精益理论与深度学习技术融合的管控一体化算法 ≥ 5 种，算法时间复杂度达到 $O(n)\sim O(\log n)$ ；申请发明专利 ≥ 2 项，获得软件著作权 ≥ 5 项，申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 3 项；开发生产管控一体化工业软件平台 1 套，在绿色能源装备、重大机电装备、先进医疗装备等年产值 ≥ 100 亿的企业开展验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 3 类。

1.8 离散行业规模化制造全链分布式决策仿真与风险控制技术（基础研究类）

研究内容：针对规模化复杂离散制造系统急需防范集中控制全局宕机失效风险的重大需求，研究复杂制造系统风险控制全链条协同应对机制，研究面向制造全域风险端边云协同实时决策与仿真方法；研究分布式控制与状态估计在大型制造系统中的应用，实现制造系统风险全链数据空间重构、自适应感知与跨域知识融合；研究支持制造系统风险智能识别、状态估计、控制策略生成的风险控制工业大模型，实现分布式端边云资源实时调度与

动态重构；研究集中控制与局部控制器的权限分配策略，研制规模化制造全链端边云协同实时决策仿真与风险控制系统，在航空航天、能源装备、精密仪器等行业开展应用示范。

考核指标：研制规模化制造全链端边云协同实时决策仿真与风险控制系统 1 套；突破全链数据融合、系统风险识别等 5 类 ≥ 10 项关键技术，端边云协同仿真与实时决策模型数 ≥ 10 个，全域跟踪与溯源标识类别 ≥ 12 类，失效风险类别 ≥ 10 项；在航空航天、能源装备、精密仪器等 2 个行业开展验证，应用企业数 ≥ 200 个，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 3 类，全局宕机防范准确率 $\geq 98\%$ ，全链风险识别准确率 $\geq 98\%$ ；申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 10 项，申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 3 项。

1.9 工业软件价值链及数字化生态资源体系（基础研究类，青年科学家项目）

研究内容：围绕典型制造业产品生命周期、智能工厂和产业价值链，研究制造业发展模式创新对工业软件开源创新性发展的需求、国内外工业软件价值链、供应链及制造业数字化生态资源体系的发展现状和趋势；针对软件定义制造和工业产品、工业软件开源闭源混合应用等趋势，研究支持产品生命周期、企业全产业链协同创新的工业软件价值链、可信供应链理论；研究制造大数据及数字化生态资源体系，建立跨学科、跨平台的协同创新生态；研究工业软件构成清单（SBOM）生成技术、静态应用程序

安全测试 (SAST)、软件成分分析技术 (SCA); 研究开源软件社区运行机制和发展模式, 开发支持开源和闭源混合模式、开放架构的产业链数字化生态资源平台原型并进行技术验证。

考核指标: 围绕典型制造业产品生命周期、智能工厂和产业价值链, 建立 1 套工业软件价值链、可信供应链理论和开源工业软件发展模式; 突破物联感知与关联融合技术、多源异构数据融合与处理技术、软件构成清单 (SBOM) 生成技术、静态应用程序安全测试技术 (SAST)、软件成分分析技术 (SCA); 研发 ≥ 5 项数字资源模型和构件, 开发 1 个支持开源和闭源混合模式、开放架构的产业链数字化生态资源平台原型并在航空或高端装备等产业进行技术验证; 围绕制造业数字生态与产业生态创新, 申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 3 项, 获得软件著作权 ≥ 1 项, 出版学术专著 1 部。

2 产品生命周期核心软件

2.1 科学计算语言与工程物理建模语言统一集成开发技术 (共性关键技术类)

研究内容: 针对复杂信息物理系统高效融合计算仿真问题, 研究新一代科学计算语言多场景动态 JIT 编译与静态 AOT 编译技术, 研究系统级建模语言、物理域工程建模语言与信息域科学计算语言统一的集成开发技术; 研究信息物理融合模型时钟驱动的多速率、多积分方法高效协同仿真求解技术, 突破连续-离散混合

场景下大规模非线性方程系统分析与优化技术，突破基于机理-数据融合模型的多尺度与多场耦合问题数值求解技术；设计云原生的端云一体化平台软件架构，研究云化环境下的海量仿真数据处理呈现技术及数据驱动的智能仿真分析技术，实现信息物理系统计算仿真端云一体化集成开发环境，面向重点行业开展应用验证。

考核指标：突破科学计算语言与工程建模语言统一集成开发、时钟驱动的信息物理融合模型高效协同仿真求解、大规模非线性方程系统分析与优化、多尺度与多场耦合问题数值求解等关键技术；实现自主可控的科学计算语言 JIT 与 AOT 编译器，支持科学计算语言自动代码生成，科学计算语言运行效率比 MATLAB 提升 20%；开发云原生的信息物理系统计算仿真端云一体化集成开发环境一套，集成开发环境支持 Julia、Python、M 等多语言编程及框图、状态机、物理组件等多范式建模，提供 MATLAB/Simulink 基础环境算法模型 80% 导入功能；多尺度与多场耦合仿真实现三维场与一维系统仿真多尺度融合，支持结构、流场、电磁等多场耦合的系统集成与系统实时仿真；申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 10 项；申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项；在航天、航空、电子信息、车辆等 ≥ 4 个行业开展应用验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类。

2.2 泛在协同设计三维 CAD 软件平台（共性关键技术类）

研究内容：围绕典型行业产业链不同角色高效设计协同的迫切需求，研究突破基于上下文的复杂结构三维关联设计、支持跨域协同的多层级多主体控制等一系列关键技术；并实现三维 CAD 模型智能检索、智能装配、智能渲染，探索“AI+CAD”在产品研发设计中的应用模式，大幅度提升产品智能设计协同水平；研发支持典型行业上下游一体化协作、泛在协同设计的三维 CAD 软件平台，支持产品在线快速三维设计，实现多专业、多阶段三维大数模协同设计；在航空、高端数控机床等行业实现上下游应用，保证数据安全，并大幅度提高产品研发创新效率。

考核指标：支持 30 余种 CAD 格式的轻量化转换，支持 50 万零部件的大装配和协同设计；支持多用户针对特征级别的实时在线交互协同设计，并在电脑、平板、手机等不同终端上操作，异地用户针对同一模型交互设计延迟 ≤ 0.5 秒，并确保数据安全；突破复杂结构三维关联设计、多层级多主体控制等 ≥ 15 项关键技术；申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 15 项；申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项；研发泛在协同设计的三维 CAD 软件平台，提供 20 个专业模块，并应用 AI 技术，实现智能检索、智能装配等，在航空、高端数控机床等行业重点用户上下游产业链应用国产化系统，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类，提升产品协同设计效率 $\geq 30\%$ 。

2.3 高端装备柔性线缆布局设计与仿真优化软件（共性关键技术类）

研究内容：针对当前复杂多品种变批量高端装备中线缆网的布局参数固化困难、设计维度灾难等关键问题，研究基于数据驱动与物理模型融合的柔性线缆物性模型、巨量线缆网布局/活动线缆响应仿真优化设计、可变设计域的线缆-主平台结构一体优化、基于信号规则的电缆网加工图纸自动生成等关键技术，实现线缆的拉伸、弯曲和运动变形的高保真预测，完成复杂干扰约束的巨量线缆网自动精确布局。研究基于“人工智能+微核心+插件”的线缆布局软件架构，研发高端装备柔性线缆布局设计与优化仿真软件。

考核指标：物性模型预测结果与实测值误差 $\leq 5\%$ ，三维路径布局模块能够实现弯曲力矩许用值 $\leq 0.45\text{N}\cdot\text{m}$ 的60根成束标准柔缆的设计与运动仿真；实现总长80km以上线缆路径自动搜索准确率 $\geq 97\%$ ，线缆分支数 ≥ 300 ，柔性矩形线缆最大长度 $\geq 120\text{m}$ ，线缆-结构一体设计降低 $\geq 65\%$ 的线缆用量，相比同样分支长度普通导线电缆，线缆网整体重量减少 $\geq 60\%$ ；平台结构设计域变化率 $\geq 35\%$ ，数字取样与实物取样的长度误差 $\leq 1\%$ ，一次试装通过率 $\geq 90\%$ ；电缆图纸自动生成完成率 $\geq 80\%$ ；研发1套柔性线缆布局设计与仿真优化软件，“人工智能+微平台+插件”的软件架构支持 $\geq 50\%$ 的组件替换；对关键技术开源，形成自主软件生态；

在火星探测卫星、飞船、轨道交通等高端装备开展应用验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类；申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项，申请发明专利 ≥ 10 项，获得软件著作权 ≥ 10 项。

2.4 数据驱动的科学计算与机理建模仿真通用平台软件（共性关键技术类）

研究内容：围绕 CAE 软件的国产安全自主可控重大需求，针对 CAE 软件仿真-试验结果一致性差、求解精度-效率相互制约的问题，研究复杂产品结构设计、强度分析、力学计算与仿真建模等关键技术；研究试验结果驱动的可行物理场数据生成技术；研究数据驱动的控制方程智能化构建方法；研究高保真物理场的 AI 求解加速算法；研究智能化建模仿真通用平台的框架构建技术；研究数据和机理驱动建模仿真融合技术，探索新模式；研发科学计算与机理建模仿真通用平台软件，在航空航天、先进轨道交通装备等行业开展应用验证或示范，推进新动能，支撑市场占有率。

考核指标：研发数据和机理驱动的建模仿真通用平台软件（支持 100+用户并行开发；建立 TB 级别的物理场数据训练库、建立 40+混合动力学模型；实现大规模偏微分方程问题的高效仿真求解，覆盖包括流体动力学、热传递、应力变形、耐久性、疲劳、振动等在内的 10 类标准类型问题）；突破数据生成、方程优化、加速求解等关键技术 ≥ 5 项；申请国家或制定行业/团体标准

≥5项；申请专利或获得软件著作权≥10项；在航空航天、先进轨道交通装备等行业开展应用验证，覆盖本项目全局的应用场景≥5类，航空航天飞机失速大迎角分离流动典型仿真场景较传统方法收敛速度提高30%，误差降低20%；与≥2个国产CAE软件团队开展合作，形成AI技术与传统CAE软件的融合框架CAE新框架，解决流动分离、涡破裂等复杂仿真难题。

2.5 复杂装备全链路多专业融合CAE云服务平台(共性关键技术类)

研究内容：针对复杂装备CAE软件多专业复用能力弱、跨专业协同难、仿真算力弹性差等问题，研究面向复杂装备仿真任务的全链路多专业异构模型构建与融合技术；研究复杂装备仿真多专业协同流程优化方法，研发支持交互式个性化定制的业务流程引擎；研究结构/流体等多种物理问题的增强型数值求解内核和分布式高效求解技术，支持高并发、高弹性计算；开发专业仿真知识库、系统仿真模型库和CAE云服务软构件库，支持多专业融合系统仿真；研发复杂装备全链路多专业CAE云服务平台，构建面向用户的交互式个性化开发环境，支撑复杂装备CAE软件的自主开发生态，实现通用仿真软件在重点行业应用融合创新。

考核指标：突破复杂装备全链路多专业融合的CAE分布式仿真关键技术≥5项；开发跨专业仿真任务协同流程引擎1套；

CAE 求解器迭代求解规模达到千万自由度量级；开发专业仿真知识库 ≥ 1000 条，领域仿真模型 ≥ 8 类，仿真软构件 ≥ 50 个；研发复杂装备全链路多专业融合的 CAE 分布式云服务平台 1 套，自主开发生态用户数 ≥ 2000 个，在 ≥ 2 个复杂装备行业开展应用融合创新，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类；申请发明专利 ≥ 5 项，获得软件著作权 ≥ 10 项，申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项。

2.6 数据驱动的正常工况诊断与自愈控制技术（共性关键技术类）

研究内容：针对钛合金、模锻铝合金等难加工材料结构件，研究能以任意精度逼近复杂几何上函数到函数映射的神经网络建模新方法，建立复杂结构件加工变形场预测神经网络模型，研究数据驱动的自适应控制理论与关键技术；开发包含难加工材料结构件加工工艺优化、异常工况诊断与自愈控制、工业系统多模态人机交互与控制决策、基于视觉的加工变形检测功能的结构件加工变形自适应控制原型系统；在航空、航天等领域典型结构件数控加工中应用验证。

考核指标：突破复杂结构件加工变形场预测神经网络模型、数据驱动的结构件加工变形自适应控制等关键技术 ≥ 2 项；开发难加工材料结构件加工工艺优化、异常工况诊断与自愈控制、工业系统多模态人机交互与控制决策、基于视觉的加工变形检测功

能的结构件加工变形自适应控制原型系统；在航空、航天等领域具有复杂几何形状的典型钛合金和模锻铝合金结构件上开展应用验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类，训练好的神经网络模型相比传统 CAE 软件单次预测构件加工变形场的效率提升 ≥ 3 个数量级，构件最大加工变形预测值的平均相对误差 $\leq 10\%$ ，相对误差的标准差 $\leq 2\%$ ，加工变形量减小到 $\leq 0.15\text{mm/m}$ ；撰写专著 1 部，申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项；获得软件著作权 ≥ 10 项。

2.7 价值驱动的复杂装备远程智能运维管控平台（共性关键技术类）

研究内容：针对特定领域高价值装备在作业区域偏远分散、工况复杂苛刻等条件下安全、可靠、智能运行维护的迫切需求，研究基于数字孪生的装备自主运行与控制技术，研究装备多源物理信号与泛在环境数据融合方法，研究时序数据高效分布式存储方法，突破基于机器学习与机理融合的边缘智能优化算法，研究面向远程运维的价值驱动运维（VDM）机理模型，构建价值驱动的复杂装备远程智能运维数字孪生体；研究基于混合现实的装备远程运维人机协作技术，研究基于多模态信息的复杂环境空间定位和感知理解技术，研究基于混合现实的维修导引信息可视化技术；构建“多源感知-数模融合-智能协同”的复杂装备性能监测、表征识别与自主调控技术体系，开发核心算法库与运维机理组

件；研发价值驱动的复杂装备远程智能运维管控平台软件，在非道路移动机械、高安全特种设备等典型行业实现应用验证。

考核指标：建立声学、摩擦学、动力学等多学科与信息技术融合的价值驱动设备运维模型 ≥ 5 个；构建物联网时序数据存储平台，实现多源异构数据融合效率 ≥ 20000 条/秒，支持装备数据通讯协议 ≥ 30 种；研制装备自主运行控制与远程运维软件工具集 ≥ 3 套、算法 ≥ 10 项，支持语音、手势等多模态协同人机交互模式，实现复杂作业工况条件下组合作业自主运行控制精度 $\geq 90\%$ ；研发价值驱动的复杂装备远程智能运维管控平台1套，融合运维支撑软件算法库、工具集，在非道路移动机械、高安全特种设备等行业应用验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类，至少1个行业的联机数占比 $\geq 50\%$ ；申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项，获得软件著作权 ≥ 10 项。

2.8 智能模型驱动的复杂装备产品信息跨域协同管理技术与系统（共性关键技术类）

研究内容：围绕复杂装备全生命周期多维度多层次产品数据管理和跨领域跨阶段业务协同场景，研究复杂装备产品信息统一建模与模型实例管理技术，制定复杂装备全生命周期通用信息模型标准，研究基于通用数据模型的对象数据的分布式存储与索引技术；突破基于MBSE的复杂装备上下游一体化产品信息管理方法、融合物态传感与生命周期数据的端到端实时协同优化和集成

技术、面向嵌入式应用环境的产品轻量化模型数字化交付等关键技术；研发智能模型驱动的复杂产品信息多视图配置与管理模块、自主 CAX\ERP\MES 等核心工业软件集成接口、复杂装备协同设计变更控制和成熟度管理等核心组件。

考核指标：研发全生命周期数据一体化管理关键技术/方法 ≥ 5 项，研发智能模型驱动的复杂装备产品生命周期管理系统 1 套，具备单工程千万级零部件或百万级装配、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 ≥ 20000 、并发用户数 ≥ 1000 ；支持跨域分布式部署，支持跨企业、跨阶段业务流程与技术状态控制；具备多专业协同设计管理功能，实现与自主三维 CAD 软件互操作，支持与行业自主 CAX\ERP\MES 等核心工业软件无缝数据集成；同步形成应用驱动的网络化嵌入式产品数据管理软件。研发 1 项网络化嵌入式产品数据管理软件，具备多维度多层次信息实时融合和处理能力；支持轻量化三维模型交付，并集成实时建造和运行等产品生命周期数据，实现高效精准的数据分析和决策；申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 10 项，申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项；面向航天、船舶等重点行业，在设计、制造等 3 家行业企业开展应用验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类。

3 智能工厂技术与系统

3.1 IT 与 OT 融合的工控设备建模语言及开发工具（共性关键技术类）

研究内容：针对 PLC、DCS 等工业控制设备对开放性、智能化组态编程平台的迫切需求，研究面向智能控制的工业组态软件开放解耦架构、多模态现场设备感知抽象等；研究实时、非实时控制与计算多目标多约束的任务配置策略、工业控制软件语义分析方法等；研究多种编程语言图形化组态与运行方法，攻克 IT 与 OT 任务融合的系统级模块化建模语言；研发新型组态编程平台软件，支持高性能可裁剪运行时，支持多种编程语言的集成建模开发等功能；在典型工业控制类产品进行应用验证。

考核指标：研制新型组态编程平台软件，支持 GB/T 15969.3 标准开发语言等 ≥ 5 种，支持 ≥ 100 个任务分配，支持模块化语言开发环境与编译器，支持 Python、C/C++ 等高级语言，支持 MATLAB 代码导入与集成且集成时间达到秒级，支持 OPC UA 服务器可视化配置与语义信息的自动生成；突破开放解耦架构、多语言混合编程、端边云语义交互配置等关键技术 ≥ 5 项；在控制器、智能网关等 ≥ 3 类产品上进行应用验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类。申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项，获得软件著作权 ≥ 10 项。

3.2 面向复杂精密部件制造过程的加工检测控制一体化软件系统（共性关键技术类）

研究内容：针对航空航天、装备制造等行业复杂精密部件在线闭环加工质量控制困难、平台化软件缺失等瓶颈问题，研究复杂精密部件制造过程中“设计-加工-检测-控制”一体化机制、要素虚模型化及封装、设计-加工-检测-控制等环节数字化集成等技术；研究高硬、高温合金等难加工材料复杂曲面精密加工工艺与在线检测、基于机器视觉的质量模型等技术；研究加工工艺优化模型、多端融合加工精度控制模型、关键性能指标识别与预测等技术，实现加工精度动态闭环控制；研究动态检测、优化控制、数据分析、知识库等软件构件开发方法，研制支持分布式、平台化部署的加工检测控制一体化软件系统；在航空航天、装备制造等行业开展应用验证。

考核指标：研制加工检测控制一体化软件系统 1 套，支持云边端分布式架构、可视化组态、实时数据和历史数据在线分析、模型和算法等知识库创建等，支持与设计软件、加工设备、检测设备 etc 基于模型的快速集成，实现感知控制周期时间 $\leq 50\text{ms}$ ；突破制造过程多端耦合机理、部件质量精准预测、工艺动态优化等关键技术 ≥ 5 项；研制包含精度预测模型、工艺优化模型、精度控制等 ≥ 10 个模型的模型库和算法库；在航空航天、装备制造等 ≥ 3 家的离散制造行业企业开展应用验证，覆盖本项目全局的应

用场景 ≥ 5 类；制定相关国家/行业/团体标准 3 项，获得软件著作权 ≥ 5 项，申请发明专利 ≥ 8 项。

3.3 基于区块链的仪控系统程序安全关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对化工等流程性行业中仪控系统软件测试和运行的代码易被篡改、评测透明度低、安全事件追溯难等问题，研究基于区块链的仪控软件安全管理架构，构建仪控软件的全流程事件库；研究基于区块链的仪控系统程序安全评测、多业务流程驱动下仪控系统可信访问技术；研究针对全流程事件库的链上存储和处理等技术，支持仪控软件的防篡改、可验证和易追溯；研制基于区块链的仪控软件安全管理平台，在化工等典型行业开展应用验证。

考核指标：研制仪控系统的安全评测工具 1 套，包含相关的评测算法模块 ≥ 3 个；构建基于区块链的仪控软件安全管理平台，区块链共识出块时间（8 节点） $\leq 200\text{ms}$ ，吞吐量 $\geq 10000\text{TPS}$ ，溯源查询时间（百万条交易） $\leq 500\text{ms}$ ；突破基于区块链的仪控系统可信访问、链上存储和处理等关键技术 ≥ 5 项；申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项，申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 10 项；在化工等 ≥ 2 个典型行业开展应用验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类。

3.4 复杂制造系统的多维态感知与优化调度关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对复杂制造系统，研究系统多源异构数据智能感知、数据机理混合驱动的智能优化决策、高动态制造环境下调度排程理论与方法；研究云边协同的制造系统多源异构数据智能融合与状态主动感知技术、基于视觉的表面缺陷精准鲁棒检测和质量评估模型、生产链关键节点的加工状态自监测和校正技术；研究可重入生产流程解析建模技术、分散算力下分布式推理、需求快变下自适应产能管控方法；研究高动态制造环境下基于实时数据的多约束多目标生产调度问题建模、数据与模型联合驱动智能调度优化、基于深度强化学习的端对端在线调度方案自生成方法，探索敏捷响应与弹性供给的制造系统柔性生产加工新模式；研发制造系统感知、优化与调度一体化原型系统，面向半导体、钢铁轧制等复杂可重入制造行业开展应用验证。

考核指标：研发复杂制造系统感知、优化与调度一体化原型系统，构建智能感知/优化/调度核心组件，提供 ≥ 8 种异构数据的感知能力；突破制造系统多源异构数据感知推理、视觉表面缺陷精准鲁棒检测、加工状态自监测和校正技术、分散算力下分布式优化、高动态制造环境下调度排程等关键技术 ≥ 10 项；申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项；获得软件著作权 ≥ 10 项；面向半导体或钢铁轧制等可重入制造行业典型应用场景进行集成验证，覆

盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类，视觉检测精度 $\leq \pm 0.05\text{mm}$ ，缺陷检测过杀率 $\leq 0.2\%$ ，多可重入产线设备空闲率 $\leq 5\%$ ，校正和产能管控等控制指令响应时延 $< 10\text{ms}$ ，自生成调度方案可执行率达 100%，生产异常动态调度响应时间减少 25%，生产效率综合指标提升 10%。

3.5 复杂制造过程全域异构信息集成与产品生命周期追溯技术（共性关键技术类）

研究内容：针对离散制造业小批量多批次复杂产品的生产计划/物料管理/制造执行/运维保障等全过程域中，存在的信息多源异构、批次频繁变更、制造协同低效、质量追溯困难等问题，研究模块化、定制化等复杂制造模式下的全域异构信息集成理论，支持异构信息智能模式映射与动态接入，研制面向单台份产品数字卷宗的智能化集成系统；研究数据与模型机理混合驱动的产品设计与制造过程协同优化技术，构建智能制造仿真优化分析平台；研究周期性故障预防、诊断与根源性分析技术，构建支持自反馈的产品生命周期质量监管与溯源系统；形成全域异构信息集成与产品质量追溯体系，在飞机整机、机器人等基于全域国产化业务信息系统的智能制造行业开展应用验证。

考核指标：形成全域异构信息集成与产品质量追溯体系 1 套，构建 ≥ 30 种异构信息的集成系统；研发异构信息接入、集成、数字卷宗、问题诊断与分析、产品质量溯源等软件构件 ≥ 10 个；研

发支持模块化设计的智能制造仿真优化分析平台 1 套，支持 ≥ 3 种不同设计任务与应用场景的仿真优化分析；支持制造工序数量 ≥ 10 万的全域制造过程监测、智能追溯、预防性检测，平均追溯效率提升 ≥ 1 个数量级，平均追溯准确率 $\geq 90\%$ ；在飞机整机、机器人等智能制造企业中开展应用验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类，形成全域信息管理国产化；申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 10 项，申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项。

3.6 测试数据驱动的高端电子装备精益生产管控软件（共性关键技术类）

研究内容：针对高端电子装备制造过程质量一致性与数据溯源性要求高、测试与制造过程多重耦合的精益管控等难题，研究涵盖高端电子装备制造全过程、全要素、多维度、高仿真的数字孪生建模方法；研究在线检测系统、生产制造设备和数字孪生体之间高通量测试数据传输共享的 OPC UA 技术；研究测试驱动制造模式生产线高精度超宽带数据在线实时采集、电磁多物理场影响因素高速闭环仿真分析技术；研究高端电子装备行业精益制造的统计过程控制技术，兼具智能生产管控与动态调度优化功能的软件技术；开发测试数据驱动的高端电子装备精益生产管控软件，在智能网联感知装备、航空航天测控装备、智能蒙皮天线电子装备等行业中选择应用验证。

考核指标：突破高端电子装备制造过程数字孪生建模，OPC

UA 系统集成，超宽带信号在线采集等关键技术 ≥ 5 项，制造过程数字孪生模型与实际场景一致性 $\geq 90\%$ ；打破高精度超宽带数据实时在线采集分析技术行业壁垒，数据采集率 $\geq 80\text{GSa/s}$ ，软件数据实时分析处理能力 $\geq 640\text{Gbps}$ ；开发测试数据驱动的高端电子装备精益生产管控软件 1 套，在智能网联感知装备、航空航天测控装备、智能蒙皮天线电子装备等行业中开展应用验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类。装备测试覆盖性提升 20%，提升产品制造精度合格率 20%，制造响应时间减小 15%；出版关于测试数据驱动的精益生产的专著 1 部，申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项，申请发明专利 ≥ 6 项，获得软件著作权 ≥ 10 项。

3.7 流程行业动态风险智能管控技术及工具集（共性关键技术类）

研究内容：研究基于人员、工艺、环境、设备、网络等典型流程行业生产运行全要素的风险感知模型与智能分析方法，及融合功能安全、信息安全和物理安全的多安全协同防护技术架构；研究基于动态风险分析的流程行业典型工艺运行基准模型、风险管控知识与规则挖掘方法等技术，构建行业验证数据集和生产运行安全规则集；研究 SIL 等安全参数在线验证、基于生产实时参数和仪控系统控制指令的多安全协同动态适配算法、自学习安全预警和优化决策等技术，研制算法工具集；研制可配置可移植动态风险智能管控系统；开展现场应用验证。

考核指标：研制动态风险智能管控系统软件平台 1 套，具备典型流程行业生产全要风险感知、智能预警决策、装备人员行为状态精准识别等功能，预测准确率 $\geq 95\%$ ，在相同工艺上的预测一致性 $\geq 95\%$ ；研制涵盖行业相关事故案例、操作数据和运行信息及元数据等行业验证数据集，典型高危场景生产运行安全规则集 ≥ 10 类，工艺运行风险动态分析、在线 SIL 验证、SIS 自主化检测等 ≥ 5 类算法工具集；在化工、油气、冶金等 ≥ 2 个典型行业开展应用验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类。出版相关专著 ≥ 1 部，申请相关国家标准 ≥ 3 项；获得软件著作权 ≥ 10 项。

4 产业协同技术与平台

4.1 支撑产品设计/制造/服务一体化的数智化底座(共性关键技术类)

研究内容：针对制造企业普遍存在设计/制造/服务各业务域系统相对独立、系统间集成和互操作性差、产品多域模型异构庞杂、跨域协同困难等问题，研究产品设计模型、制造工艺、服务运维等业务逻辑解耦与抽象方法，建立业务数据聚合、资源自主治理的开放式工业互联网操作系统体系架构；研究业务数据主线感知、资源动态交互的操作系统内核；研究工业互联网操作系统安全架构和关键技术，满足工业应用的高安全要求；研究 IT/OT/DT 的跨界融合与资源动态整合、自适应接入与组态建模、智能化协同边缘控制技术；突破基于数字主线的产品设计/制造/

服务模型协同演化、数据交互反馈、业务快速构建技术；研究场景化数理模型和智能算法技术，工业应用低代码开发和在线无扰更新技术；研发支撑产品设计/制造/服务一体化的数智化底座原型，在离散行业开展应用验证。

考核指标：突破产品业务逻辑解耦与抽象方法、基于数字主线的模型协同演化等关键技术 ≥ 5 项；建立新型智能化工业互联网操作系统体系架构、内核及安全机制；形成建模、敏捷开发、智能分析等工具组件 ≥ 10 个；构建支撑产品设计/制造/服务一体化的数智化底座原型，接入设计、制造、服务3类工业软件 ≥ 10 项；支持异构数据库协同、产品制造工艺与服务知识融合、数字主线快速构建、云端融合应用，支持在线无扰升级、软件升级对业务影响时间 < 10 秒；面向汽车、家电等离散行业开展应用验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类，支持设计/制造/服务的产品/系统/装备/业务互联管理能力 > 500 万个节点，平均响应时间 $< 2s$ ，接入业务效率提高 $\geq 30\%$ ；申请发明专利 ≥ 2 项，获得软件著作权 ≥ 10 项；申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项。

4.2 支撑智能工厂精益管控的工业互联网操作系统关键技术（共性关键技术类）

研究内容：围绕智能化工厂精益管控发展需求，研究支持人、机、料、法和环等生产全要素资源接入下现场级与平台级融合的工业互联网操作系统体系架构，支持管控一体化业务模型和业务

流程的资源抽象与管理；研究数智化工厂工业互联网操作系统核心、多模态数据融合与分布式计算内核、微内核高实时虚拟化技术、实时与非实时系统混合应用引擎；研发支撑智能工厂精益管控的工业互联网操作系统原型，开发数据驱动型、知识驱动型和模型驱动型管控组件；建设以工业互联网操作系统创新中心为主体的技术创新体系，以软件开发商、系统集成商等为主体的产业支撑体系，并在流程或离散制造行业进行应用验证。

考核指标：研制支撑智能工厂精益管控的工业互联网操作系统原型，实现实时与非实时业务的安全并发隔离，兼容 ≥ 4 种主流芯片架构，接入生产与业务类系统 ≥ 300 套；研发领域模型和智能算法，支持控制任务周期 ≤ 300 微秒，调度延时 ≤ 10 微秒；研发生产管控类组件 ≥ 100 个，提升应用开发效率 $\geq 50\%$ ；形成1个工业互联网操作系统产业联盟，在石化、水泥、电子和机械等制造行业 ≥ 10 家企业应用验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类，应用效果满足生产效率提高 $\geq 20\%$ ，单位产值能耗降低 $\geq 5\%$ ；申请发明专利 ≥ 5 项，获得软件著作权 ≥ 5 项，申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项。

4.3 新一代智能化制造企业 ERP 工业软件（共性关键技术类）

研究内容：围绕流程行业国产高端 ERP 的重大产业需求，探索制造企业感知型智慧运营新模式和增强式生态协同新模式；研

究制造企业产业间/基地间/区域市场间的产业链协同优化机制，基于制造企业多业态/多产线/多品种/多基地等特点，研究一总部多基地和产供销一体化管理模式；突破需求实时聚合、应用服务组装式快速构造、领域知识自动化和智能化、基于数字工人的智能 workflow 协同优化、云原生微服务等技术，建立数据驱动与知识引导相结合的业务规则库，实现市场需求预测、产销资源平衡、运营风险预警等多类智能模型；研发流程行业新一代智能化制造企业 ERP 工业软件，支持数字营销、智能财税、产运销储协作、经济性策略采购、多基地产销平衡等领域端到端流程的自动化和智能化，实现制造资源的敏捷配置，支持面向规模化、定制化等多类型制造模式，实现产业链上下游及产业生态协同；在钢铁、矿山、能源等流程行业开展应用示范，构建易于快速部署、流程全覆盖的解决方案，实现大规模应用，提升国产高端 ERP 市场占有率。

考核指标：研发流程行业国产化新一代制造企业智能 ERP 工业软件，突破需求实时聚合、应用服务组装式快速构造、领域知识自动化和智能化、基于数字工人的智能 workflow 协同优化、云原生微服务等 ≥ 6 项关键技术，支持柔性定义和动态扩展，支持并发用户 ≥ 10000 个，数字工人场景 ≥ 30 个，智能模型 ≥ 5 个，可视化应用建模 ≥ 50 种，可复用领域模型 ≥ 50 个，可组装业务模板 ≥ 10 个，覆盖产业协同优化业务领域 ≥ 10 个，支持跨领域端

到端流程 ≥ 10 种；支持数字营销、智能财税、经济性策略采购、产销储运业务一体化协同、多基地产销平衡等典型场景，支持面向规模化、定制化等多类型制造模式，业务连续性保障 $\geq 99.99\%$ ，实现全程按合同组织生产，合同完成率提升 5%，产品命中率提升 1%；选择钢铁、矿山、能源等流程行业开展超大规模应用验证，覆盖行业 ≥ 6 个、集团型企业应用 ≥ 20 家，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类；实现流程行业高端 ERP 国产化替代，替代国外案例数 ≥ 10 个；申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 10 项，申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项。

4.4 基于 AI 模型的产业链供应链网络协同平台(共性关键技术类)

研究内容：围绕提升我国产业链、供应链整体管理水平的重大需求，研究基于统一数字业务模型的供应链、营销链、服务链全业务链一体化融合技术、增强式预测分析技术；研究基于 AI 模型的工业产品供需匹配、供销量价与物流调度配送周期预测技术；研究供应链与服务价值链的融合技术，建立供应链管理效率与产品质量-服务评价的正向循环反馈机制，构建多维度评估、多要素信息共享的供应链预测/运营/管理/服务模式；研究基于智能物联感知的供应链协同物流全过程孪生可视化管控技术；研发支持全流程可视化管控与预测运营的产业链供应链网络协同平台，实现供应链与服务价值链的流程协同、信息共享，提升产业链、

供应链韧性；在港口、汽车、钢铁等集团企业开展应用验证，强化 AI 模型在产业链价值链战略管控、市场供需预测、智能决策、协同共享等方面的技术支撑，形成企业供应链、营销链、服务链全业务链一体化融合的新模式。

考核指标：研发一套支持全流程可视化管控与预测运营的产业链供应链网络协同平台，支持供应链与服务价值链各环节数据融合、实时监控、智能预测、回溯追查、辅助决策等核心功能；突破供应链与服务价值链融合、预测分析、孪生可视化、供应链物流调配、AI 模型等关键技术 ≥ 5 项；供应链、营销链、服务链相关动态感知、自主决策、预测预警等技术应用场景数 ≥ 100 个，模型 ≥ 10 个，产业链协同合作企业数 ≥ 10000 家，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类；申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 10 项，申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项；提升企业间协同管理效率 $\geq 20\%$ ，市场占有率 $\geq 5\%$ 。

4.5 高端装备生命周期价值链协同工业软件平台（共性关键技术类）

研究内容：针对我国高端医学影像装备产品制造价值链与基于装备的服务价值链割裂，缺乏用户直接参与提升装备质量和性能的有效途径问题，研究高端医学影像装备跨模态跨区域状态数据实时采集、智能监控、风险预测、面向产品应用服务数据与知识驱动的质量管控等技术；建立高端医学影像装备多维度质量评

判指标体系，研究基于影像数据的多学科专家评价闭环反馈机制，构建多学科专家评价资源库；探索形成装备制造价值链与基于装备的服务价值链融合的服务型制造模式；研发高端医学影像装备生命周期价值链协同工业软件平台，实现基于 V 模型的高端医学影像装备全生命周期质量管理与性能提升；面向国产品牌高端核医学影像装备或计算机断层扫描装备开展应用验证，形成“应用-反馈-迭代-验证-推广”的良性循环，促进产品创新。

考核指标：建立高端医学影像装备生命周期价值链协同工业软件平台，支持的模态设备 ≥ 3 种，平台运行并发性能可同时支持实时在线 3000 台设备以上；面向国产品牌高端核医学影像装备或计算机断层扫描装备开展应用验证，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 5 类，服务的品牌在国内相关领域的市场占有率 $\geq 40\%$ ，占全部国产品牌的 $\geq 80\%$ ；突破高端医学影像装备价值链协同、优化和管控关键技术 ≥ 5 项；构建不少于 50000 张多学科多维度的高端医学影像装备专家评价量表的资源库，基于影像装备服务链的专家评价覆盖 ≥ 4 个学科；装备的故障一次解决率 $\geq 98\%$ ，装备可用率 $\geq 95\%$ 以上；探索装备制造价值链与基于装备的服务价值链融合的服务型制造新模式；申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 10 项；申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项。

5 工业软件生态应用示范

5.1 流程行业集团企业智能生产工业软件集成技术及应用示范（应用示范类）

研究内容：研究面向流程工业集团企业内生产多设备的检测、控制、工艺优化、智能决策等横纵向互联互通的集成技术；研究面向全流程跨工序生产要素的协同物联和工业流程全链融合的数据集成与数据治理关键技术；突破现有系统屏障，研究自主工业软件开发、验证、集成、应用的共性方法、模型和技术，面向工业软件开发、集成、应用的知识图谱和技术资源，工业软件成套成线技术，集成包括本专项研发成果在内的决策与控制一体化软件，构建工业软件系统集成技术平台，形成面向智能生产的工业软件集解决方案，在大型钢铁等流程型集团企业进行应用示范。

考核指标：形成面向智能生产的流程工业集团企业内工业软件集成解决方案；在大型钢铁集团企业等开展应用示范，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 10 类；实现工业设备互联互通、工厂生产要素物联、工业流程全链融合、工业软件成套成线，集成应用包括本专项研发成果在内的自主软件 ≥ 5 项，班组人员效率提升40%，自动化率提升至99%，工艺综合生产效率提升 $\geq 5\%$ ，工序能耗降低 $\geq 5\%$ ；培育系统集成商 ≥ 1 家；获得软件著作权 ≥ 5 项。

5.2 离散行业集团企业战略管控集成系统研发与应用示范 (应用示范类)

研究内容：围绕国家战略领域集团企业产业链协同管控重大需求，研究集团企业间产业链价值链战略管控模式；研究基于工业互联网的产业链自组织协同模式与群智涌现机理，多模态群智数据融合与复杂情景主动感知、自适应学习、协作演化与可信评估方法；研究工业互联网产业链市场共创、协同设计/制造/物流与群智决策技术、云边端多层次资源群智调配技术，产品设计、制造、物流等多阶段跨域推理与融合调控技术；集成包括本专项研发成果在内的自主软件，构建集团企业产业链协同战略管控集成系统，面向国家战略领域离散制造业典型行业开展应用示范。

考核指标：提出集团企业间产业链战略管控新模式，形成一套基于工业互联网的产业链自组织协同模式与群智涌现理论；突破基于工业互联网和新一代人工智能驱动的产业链人机物群智数据融合、协同情景感知、自适应学习、跨域协同仿真、模型可信评估、云边端资源调配、多阶段跨域推理与融合调控等 ≥ 10 项关键技术，研发 ≥ 10 种构件；研发集团企业产业链协同战略管控集成系统，集成应用包括本专项研发成果在内的自主软件5项，支撑 ≥ 2000 家企业产业链协同，支撑市场、设计、制造、物流、服务等 ≥ 5 个环节跨域智能协同；在航空航天、轨道交通、新能源汽车的大型集团企业开展应用示范，应用示范应覆盖本项目全

局，全局应用场景 ≥ 10 类，实现工业流程全链融合、工业软件成套成线，产业链协同效率提升20%，制造效率提升20%；培育系统集成商 ≥ 1 家；申请发明专利 ≥ 10 项，获得软件著作权 ≥ 10 项，申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 10 项。

5.3 高端风电装备设计制造与运维过程协同平台研发及应用示范（应用示范类）

研究内容：针对大型高端风电装备生产制造全过程信息闭环反馈不足等导致的产品设计迭代不充分且精度不足、整机制造协同反馈效率低、机组可靠性及运行效率偏低等问题，研究高环境抗性与低维护大型高端风电装备的设计制造与运维全过程生命周期跨域知识融合技术，建立考虑极端服役环境和多工况条件的闭环迭代设计验证方法；研究基于数字孪生的大型高端风电装备整机制造过程模拟与制造系统虚拟重构方法，构建制造过程在线质量控制与工艺协同优化技术；研究面向大型高端风电装备运行实时状态监测的预测性维护技术，建立基于智能化运维反馈的可靠性决策优化、质量追溯及性能评价方法；研发高端风电装备设计制造与运维全过程协同软件平台，具备、设计验证、质量控制、可靠性优化、预测性运维及全流程集成化管理等核心功能，并形成基于运维反馈的高端风电装备设计工艺与管理模型库；选择海上风电整机制造企业进行应用示范。

考核指标：研发高端风电装备设计制造与运维全过程协同软

件平台 1 套，构建支撑高端新能源装备制造的设计工艺与管理模型库，实现风能利用率提升至 50%以上、制造周期缩短至 1.5 年内、极端服役条件及多样化工况条件下（海浪、风力、腐蚀、振动等）健康状态在线诊断及预警准确度 $\geq 90\%$ 、机组运行等效年利用小时数 ≥ 4000 小时/台；突破全生命周期跨域知识融合、闭环迭代设计验证、柔性单元虚拟重构、实时状态监测、预测性维护、质量追溯等关键技术 ≥ 10 项；申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项，申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 15 项；在海上风电整机装备制造企业进行应用示范，支持制造 20MW 级以上国产化海上风电整机装备，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 10 类。

5.4 基于数字主线的民机系列化制造运营服务平台及应用示范（应用示范类）

研究内容：构建民机制造运营数字主线体系框架。设计支持多业务流程协同工作的平台框架，制定数字交付的标准和流程；研究全要素信息采集与数据建模技术，实现对实体全要素的精确获取，构建产品的数字模型；研究面向制造运营全流程链条的动态重构与数字交付技术。实现生产与运营资源的优化配置、快速响应和多业务流程的高效协同；构建面向制造运营全时空服务的数字飞机平台，实现对飞机零件、装配、测量、质量状态的实时监控、预测和维护，飞机数据的精准纪实、快速溯源和模拟推演；民机制造运营全流程应用示范，实现飞机在制造、交付、运行维

护等全生命周期内的数字化模拟和优化。

考核指标：开发面向民机系列化发展的制造交付运营全过程数字飞机平台软件 1 套，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 10 类，支持 1 万用户同时在线、平台核心服务支持 1000 并发，平台页面平均载入时间 $< 3s$ ，服务平均响应时间 $< 100ms$ ；构建 C919 飞机及关联要素数字模型，在跨尺度几何模型精度方面，厂房类优于 1cm、工装设备类优于 1mm、飞机类优于 0.1mm；重建效率提升 50%。集成 ≥ 10 种以上的标准工业协议，支持 ≥ 3000 点的数据采集，采集速度 $\geq 5Hz$ 。突破 C919 飞机系列化生产推演与优化技术，凝练典型应用场景 ≥ 10 项，单机十万级工序下，综合智能排产要素 ≥ 20 类，产线利用率提升 $\geq 20\%$ ，千工时质量问题发生率降低 20%，人为因素导致的产品质量问题下降 20%，支撑新增 ≥ 100 架/年产能；申请发明专利 ≥ 4 项；获得软件著作权 ≥ 10 项；申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项。

5.5 链主企业管控的产业链协同平台研发及应用示范（应用示范类）

研究内容：围绕链主企业产业链协同过程中存在的资源孤立分散、跨域协同效率低、产业链柔性不足等问题，研究产业链节点衔接、产能分发互助的战略协同管控模式；研究模型驱动的产业链协同建模及设计制造仿真方法，突破模块/模型智能检索/重用/计算协同、虚实融合联调等技术，研发基于模型的系统工程建

模仿真工具；研究产业链多模态数据集成、产业链数据空间、产业链分布式资源适配与优化、参数动态调度决策、全要素标识解析及追溯等关键技术；研究产业链协同自主工业软件的集成应用技术，研发面向工业软件集成应用的技术资源，集成包括本专项研发成果在内的自主软件，研发链主企业管控的产业链协同平台，形成产业链协同集成解决方案，开展应用示范。

考核指标：提出产业链战略协同管控模式及集成解决方案 1 套，突破虚实融合联调、多模态数据集成等产业链协同关键技术 ≥ 15 项；研发建模仿真、调度决策等工具构件 ≥ 10 套；集成应用包括本专项研发成果在内的自主软件 ≥ 5 项，研发链主企业管控的产业链协同平台 1 套，实现产业链需求/模型/参数混合驱动的协同设计/制造/物流，支持多系统模型协同管理与共享；在家电、高安全特种设备、纺织等开展链主企业产业链协同应用示范，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 10 类；数据集成度提升到 80% 以上，产业链协同效率提升 20%；申请发明专利 ≥ 5 项，获得软件著作权 ≥ 5 项，申请国家或制定行业/团体标准 ≥ 2 项。

5.6 面向中小企业的区域特色产业研发创新与协同制造集成服务平台（应用示范类）

研究内容：针对产业链中小企业群信息共享不畅、创新能力不足、上下游协作难、资源共享程度低等问题，研究全链融入的中小企业研发创新与协同制造集成服务平台发展模式、商业模

式、价值网协同模式；研究大规模多源异构数据关联与融合演化、知识-数据驱动的产品创新设计、时空融合区域产业链多方业务/资源协同优化、协同制造全链追踪与质量控制等关键技术；构建支持产品创新研发和服务的行业多模态大模型；构建区域特色产业研发创新与协同制造集成服务平台，汇聚区域优质资源和国产自主软件，形成资源库，支持制造资源、制造能力协同优化，支持产品研发、生产制造全链跟踪与追溯。结合国家高新区建设，在粤港澳大湾区集成电路、消费电子等产业，长江三角洲模具、家电等产业，长江中游工程机械、机电等产业开展应用，形成产业链的资源高效利用和大中小企业融通创新新动能。

考核指标：提出全链融入的中小企业研发创新与协同制造集成服务平台的发展模式和商业模式、价值网协同模式；突破知识-数据驱动的产品创新设计、产业链多方业务/资源协同优化、协同制造全链追踪与质量控制等关键技术 ≥ 5 项；构建面向区域产业集群的研发创新与协同制造集成服务平台；在粤港澳大湾区集成电路、消费电子等产业，长江三角洲模具、家电等产业，长江中游工程机械、机电等产业开展应用示范，覆盖本项目全局的应用场景 ≥ 10 类；分别汇聚优质产业资源 ≥ 10000 项，服务中小企业 ≥ 1000 家，产品协同研发和制造能力明显提高，协同效率提升 $\geq 20\%$ ，资源配置效率提升 $\geq 20\%$ ，节约制造成本 $\geq 20\%$ ，减少业务交互次数 $\geq 20\%$ ；培育工业软件系统集成商 ≥ 1 家。申请国

家或制定行业/团体标准 ≥ 5 项，申请发明专利或获得软件著作权 ≥ 10 项。

南京航空航天大学 A000551