

## **“工业软件”重点专项 2022 年度 项目申报指南**

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 2022 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。

2022 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等 4 个技术方向，按照基础研究和共性关键技术，拟启动 31 个项目，拟安排国拨经费 4.80 亿元。其中，围绕工业软件及数字生态前沿技术方向，拟部署 2 个青年科学家项目方向，每个方向支持 2 个项目，拟安排国拨经费 800 万元，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 1:1，其中指南任务 2.13 和 2.14，配套经费与国拨经费比例不低于 1.5:1。

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 1~2 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 1984 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1982 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。

指南中“拟支持数为 1~2 项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这 2 个项目。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

## **1. 基础研究类**

### **1.1 复杂产品制造过程工艺规划与车间调度协同优化方法 （青年科学家项目）**

研究内容：针对航空航天等行业的复杂产品制造过程的工艺

不稳定、生产效率低等问题，研究复杂产品制造过程工艺规划与车间调度的协同优化方法，突破数据驱动的关键制造资源状态分析与预测、基于网络图的协同优化建模与领域知识挖掘、知识驱动的协同智能优化算法等关键技术，开发工艺规划与车间调度协同优化系统。

考核指标：攻克制造资源状态分析与预测、基于网络图的协同优化建模与领域知识挖掘、协同智能优化算法等关键技术  $\geq 3$  项，申请发明专利  $\geq 3$  项；车间关键制造资源状态预测准确率 85% 以上；可求解超大规模协同优化问题（工序节点数  $\geq 100$  个、单个工序节点可选资源数  $\geq 5$  项、可行解空间规模不小于  $10^{100}$ ）、且求解时间  $\leq 300$  秒，在工艺规划与车间调度协同优化问题的国际公开测试集上最优解覆盖率不低于 80%；开发工艺规划与车间调度协同优化系统 1 套，具有预测、建模与优化等核心功能。

有关说明：同时支持 2 项。

## 1.2 复杂设计域超大规模高效等几何拓扑优化方法（青年科学家项目）

研究内容：针对航空航天等领域高端装备结构件几何描述复杂，建模、分析与优化相互割裂，设计交互繁琐低效等问题，研究基于 NURBS 等几何的设计、分析、优化模型统一表征与自适应构建及映射技术，实现复杂结构件设计、分析、优化模型一体化构建；研究 CPU/GPU 异构并行的复杂结构件高精高效数值求解技术，实现复杂设计域超大规模的结构高效性能计算与等几何

拓扑优化；研究复杂 3D 拓扑优化结果的可编辑 NURBS 几何模型自动生成算法，实现与 CAD 造型系统的无缝集成；形成面向工程化应用的复杂设计域等几何设计分析优化一体化技术与软件生态构建体系，开发覆盖产品设计周期的复杂设计域等几何拓扑优化软件工具，开展热超构材料等几何拓扑优化工程应用。

考核指标：建立复杂设计域等几何拓扑优化方法，实现优化结果全自动生成 NURBS 表达的可编辑（布尔运算、调整控制点）CAD 模型，支持等几何拓扑优化单机工作站亿级自由度规模（双精度单次优化迭代时间 $\leq 1$ 分钟），开发等几何拓扑优化设计分析一体化软件工具 1 套，对关键技术开源，形成完整的 SDK 与自主软件生态；支持 IGS、STL、点云等复杂初始设计域描述格式 $\geq 3$ 种；制备具有特殊热学性能的热超构器件 $\geq 3$ 类；优化计算效率相比传统方法提升 40%以上；申请发明专利 $\geq 4$ 项，登记软件著作权 $\geq 4$ 项。

有关说明：同时支持 2 项。

### 1.3 手绘草图采集与生成算法

研究内容：针对产品创新设计过程对设计意图理解、概念生成的快速表征等问题，突破手绘草图的数据采集与模型生成等核心算法与技术；研究基于国产数字化笔的 CAD 手绘草图数据采集技术；研究 CAD 手绘草图数据存储、交互式智能查询技术；研究基于人机混合智能的草图识别算法；研究基于草图大数据的 CAD 模型生成核心算法；基于笔式用户界面范式，研发草图 CAD

工具集，并在具体企业产品创新设计中进行技术验证。

考核指标：形成 1 套基于笔式用户界面 CAD 模型智能识别工具软件；适配国产数字化笔设备，实现真实绘制，实现时间和主题查询；提出人机混合智能的草图识别心理学模型和信息模型，识别准确率大于 95%；采用基于场景设计的方法，实现用户界面个性化定制，在不少于 3 类典型产品创新设计中进行技术验证；申请发明专利 $\geq 3$  项，登记软件著作权 $\geq 2$  项。

#### **1.4 基于微服务架构的增强/混合现实应用开发引擎**

研究内容：研究基于 CAD 内核的三维增强现实/混合现实（AR/MR）数据自动转换与编辑生成技术；研究基于图像视频的高精准环境感知与跟踪定位技术；研究基于三维 CAD 数据的 AR/MR 内容高精度实时渲染技术；研究支持 AR/MR 应用开发的微服务架构，研发数据转换、环境感知、跟踪定位、实时渲染等微服务组件；研制基于微服务架构的 AR/MR 应用开发引擎，开展与国产三维 CAD 软件集成的 AR/MR 验证应用。

考核指标：开发 1 套基于微服务架构的 AR/MR 应用开发引擎，关键微服务组件 $\geq 4$  套，微服务架构支持 AR/MR 应用的统一工作流和快速开发部署；支持 CAD 格式数据的直接导入和实时预览，模型导入后保留和显示完整的结构信息，模型零部件形状、坐标信息的精准度不低于 90%；光照、平面等环境信息的感知误差 $\leq 10\%$ ，相机位姿、人体、人脸、手势等的跟踪定位误差 $\leq 5\%$ ；支持 CAD 模型相关点、线、面等精确尺寸信息导入；

支持 AR/MR 内容的三维精确测量;支持大型工业 3D 模型数据照片级的实时渲染,模型三角面数不低于十亿。在复杂装备的应用场景中进行 AR/MR 开发引擎的技术验证;申请发明专利 $\geq 3$ 项,登记软件著作权 $\geq 2$ 项。

### **1.5 计算机辅助产品概念创新设计理论及方法**

研究内容:针对 CAD 无法支持产品概念创新设计的不足,研究基于人机联合认知的概念创新设计理论与设计方法体系,构建统一结构化产品概念创新设计过程模型、设计信息表达模型和设计方案分析演化模型;突破有利于概念创新设计的创新方法融合集成、知识跨领域迁移推理、多通道创意捕捉、智能交互评价和设计问题重构等关键技术;开发计算机辅助产品概念创新设计软件,在国家重点领域典型工业场景和行业开展技术验证。

考核指标:建立支持人机联合概念创新设计的认知机理、知识迁移和协同演化模型,构建形式化与结构化概念创新设计全过程模型;开发智能化计算机辅助产品概念创新设计软件 1 套,提供概念创新设计模板 $\geq 10$ 个,创新设计知识资源库 $\geq 10$ 类,并在国家重点领域典型工业场景和行业开展技术验证,申请发明专利 $\geq 6$ 项,其中国际专利 $\geq 2$ 项,登记软件著作权 $\geq 5$ 项。

### **1.6 CAD/CAE 一体化物理仿真引擎**

研究内容:针对工业制造领域中由于建模与仿真模式不合理而造成的产品设计效率低下等问题,研究 CAD/CAE 一体化的统一离散模型表示方法;研究基于细分表示的高效迭代编辑与动态

局部快速计算方法，以及形状优化问题的高效快速求解算法；研发支持异构并行的、面向显/隐式的、高效高精度和数值稳定的国产求解器，开发国产 CAD/CAE 一体化设计仿真引擎原型，并在交通运输装备、高端制造装备等领域进行应用验证。

考核指标：形成国产通用的 CAD/CAE 一体化设计仿真引擎原型系统 1 套，涵盖显/隐格式求解器，能够处理接触、几何、材料等多重非线性问题；制定不少于 3 种 CAD/CAE 一体化模型数据格式，支持不少于 3 种典型模型数据格式的相互转换；支持几何模型的高效迭代编辑与计算模型的动态重分析调整；支持千万级自由度规模的交互式异构并行仿真分析计算，支持全流程国产异构处理器的 CAD/CAE 迭代设计仿真计算；申请发明专利  $\geq 3$  项，登记软件著作权  $\geq 2$  项。

### 1.7 复杂多相多场流体动力仿真算法

研究内容：针对跨介质航行体和水力机械等研究领域面临的复杂高速多相流体系仿真难度大等问题，研究多相多场精细化模拟核心求解器构建策略；研究高效网格自动生成技术、大规模可扩展并行计算等关键技术与算法；研究面向工程应用的仿真软件系统验证和评估方法，在跨介质航行体和水力机械等领域开展技术验证。

考核指标：建立多相流模型、空化模型、湍流模型、流固耦合模型、网格自动生成模型、流动特征表征方法等仿真分析模型库，开发关键自主算法  $\geq 6$  个，模型应用案例  $\geq 2$  个；形成至少 1

套复杂多相多场流体动力精细化仿真算法库，实现支持亿级以上网格模型和大规模可扩展高效并行计算；在跨介质航行体和水力机械等航天和航海领域重大装备开展技术验证，多相流特征流动结构和关键流体动力等仿真结果与试验数据综合误差不高于15%；申请发明专利 $\geq 3$ 项，登记软件著作权 $\geq 2$ 项。

### 1.8 高端装备智能运维数字孪生体建模理论

研究内容：针对不同领域高端装备在复杂应用场景面临的安全可靠性难题，研究高端装备智能运维全过程智能化模式、数字孪生系统构架和基于知识经验与应用场景自洽的装备数字孪生体建模方法；研究面向数字孪生的尺度组件精准建模技术；研究数字孪生大数据与专家系统驱动的状态评估、故障诊断、寿命预测、故障预警等技术；开发基于模型与应用场景匹配定制的高端装备智能运维系统原型，在轨道交通、航空航天和能源装备等领域进行应用验证。

考核指标：突破高端装备智能运维全过程智能化模型建模理论，提出知识经验与应用场景自洽的数字孪生体建模方法2种以上；构建高端装备智能运维数字孪生架构，开发数字孪生模型至少2个；研究基于数字孪生的装备智能运维系统原型，在轨道交通、航空航天、能源装备和工程机械等至少1个领域开展验证，支持100台套以上高端装备的运维服务，对高端装备的主要运维功能覆盖率大于80%，支持10种以上典型故障诊断类型，识别率大于90%；实现5种以上典型故障预警，预警误判率小于5%；申请发



明专利 20 项，登记软件著作权 5 项，制定行业/企业标准 3 项。

### **1.9 工业 5.5G 基础理论**

研究内容：针对工业复杂场景下海量设备互联和远程交互等应用方面的需求，研究工业 5.5G 基础理论，突破 5G 与工业现场设备以及自动化系统深度融合等难题。研究面向工业控制的 5.5G 通信理论，突破高干扰条件下的混合网络容限理论；研究面向工业自动化系统的 5.5G 通信网络与业务协同调度技术；研发适配工业现场网络的 5.5G 通信协议栈和异构网络协议转换软件；研究工业 5.5G 通信管理模块化、集成化的功能编程语言与逻辑设计，开发工业 5.5G 通信管理软件；研发面向规模制造从现场边缘设备实时采集、生产控制到应用决策的 5.5G 工业应用软件。

考核指标：攻克工业 5.5G 基础理论，突破混合网络容限和工业现场网络适配等关键技术 10 项以上；形成 1 套面向工业控制的 5.5G 通信理论与技术体系；研制工业 5.5G 通信协议栈和异构协议转换软件 1 套，实现工业 5.5G 与 5 种以上主流工业有线/无线网络协议间互联互通，组网 7 跳通信时延达到 5ms，开发工业 5.5G 通信管理软件和面向规模制造的 5.5G 工业应用软件 1 套，在新能源汽车等场景进行应用验证；申请发明专利  $\geq 10$  项，登记软件著作权  $\geq 5$  项，围绕工业 5.5G 关键技术和应用等方面提出国家或国际标准  $\geq 2$  项。

### **1.10 基于视觉感知的复杂外形产品表面缺陷检测理论与方法**

研究内容：面向关键制造工艺节点以及产品形状各异、外观

特征复杂、结构多层交织、表面凹凸曲度多样、表面折光反光等多样化的质检环境，研究复杂外形产品表面的图像采集和精准快速成像技术、基于视觉的工业缺陷智能检测技术，实现小样本、弱监督、半监督、强噪声、弱对比、背景多变等复杂条件下的表面缺陷精准检测；研究面向缺陷检测的时序数据管理、基于数字孪生的质量分析技术，建立工业缺陷多样化综合特性的缺陷评价方法；开发集成化的产品表面质量检测管控软件与装备，实现制造工艺节点和产品的表面缺陷检测与管控。

考核指标：开发复杂外形产品表面的图像采集和精准快速成像技术和小样本、弱监督、半监督、强噪声、弱对比、背景多变等复杂条件下的表面缺陷精准检测技术 $\geq 5$ 项，研发1套复杂外形产品表面的图像采集和精准快速成像系统、智能检测管控软件与装备，构建大规模工业缺陷数据集。对复杂外形工件缺陷检测准确率优于95%，单张图片缺陷检测时间小于10毫秒。申请发明专利 $\geq 5$ 项，登记软件著作权 $\geq 10$ 项，起草外观缺陷检测的国家标准草案1项。在航空发动机的涡轮叶片及外周部件群或高铁玻璃等典型产品制造缺陷检测中进行应用验证。

### **1.11 软件定义的感知计算控制一体化理论与方法**

研究内容：针对工业可编程控制设备的组态编程平台自主能力差等问题，研究软件定义的感知计算控制融合设计方法，设计组态部署一体化架构、可编程计算控制编译型设计方法、模块化设计方法等；研究软件定义的面向不同硬件平台的代码重定位、

在线仿真方法以及多设备任务调试机制，实现不同体系架构 CPU 的透明运行；研究周期任务、循环任务、事件任务等多类型任务并存的综合调度与资源分配技术，实现计算实时性和服务一体化；研制软件定义的感知计算控制一体化的可编程开发平台系统及测试、验证技术。

考核指标：研制 1 套软件定义的工控集成组态软件，具备同步开发能力，支持不少于 7 种图形化、脚本以及高级开发语言，支持机器码和中间代码两种编译模式，与硬件解耦并支持 ARM、MIPS、X64 等 4 种以上指令集，代码开源率  $\geq 85\%$ ，支持不少于 16 个优先级的自由、周期与事件触发任务组态，任务调度周期、控制与记录覆盖  $\mu\text{s}$ 、 $\text{ms}$ 、 $\text{s}$  等时间量度的控制；开发感知计算控制一体化开发平台原型系统，支持软件定义的一体化自适应调度与管理，支持钢铁、能源等不少于 2 个典型行业特性的开发需求；申请发明专利  $\geq 6$  项，形成国家/国际标准  $\geq 2$  项。

### **1.12 基于双层结构预测的虚拟控制器设计与优化方法**

研究内容：针对钢铁、石化、制药等流程制造过程环节多、耦合深，导致响应不及时、能耗碳排放高等问题，研究基于云一边协同双层结构预测的虚拟控制器，支持生产运营多车间/多环节的一体化协同。研究以低能耗为核心的流程行业物质流能源流和信息流时空边界耦合协同优化与预测仿真方法，突破流程制造过程中减碳降耗运行机制；研究基于知识分析与数据驱动相融合的低耗协同智能优化调度技术，解决高动态制造环境下的多约束条

件多目标问题；研究贯穿研制/采购/生产/仓储/物流全过程的虚拟分布式控制方法，实现边缘侧实时感知与智能调控；研究产品缺陷的数字化溯源跟踪和分析方法；研制虚拟控制器原型系统，并开展实验验证。

考核指标：提出基于云一边协同的全局预测仿真与分布式多虚拟控制器协同优化控制方法，仿真预测误差小于 10%；研制云边协同虚拟集散控制器原型，研发不少于 20 项制造数据采集、排程、调度与可视化等微服务软件构件，形成 1 套流程制造全流程智能管控技术解决方案；申请发明专利  $\geq 5$  项，登记软件著作权  $\geq 5$  项；形成标准  $\geq 2$  项，在钢铁、石化、制药等典型行业开展实验验证，企业综合能耗降低 10%，产品缺陷溯源准确率达到 90%。

### **1.13 工业过程智能系统柔性低代码构建基础理论**

研究内容：研究工业过程智能系统柔性低代码构建基础理论，包括显性专家经验与数据蕴含规律相结合的表达方法、工艺参数高效自动化优化理论、柔性低代码构建软件体系理论等；研究面向多源异构工业数据的全流程自动建模优化技术，提高工艺参数优化的建模效率和自动化程度，实现面向多种工艺的柔性低代码建模；研究数据驱动与知识引导的可视协同交互方法，实现工艺参数智能优化的可交互性和可解释性；研究典型大批量定制和多品种小批量制造模式下的质量统计非正态分布模型和评估算法；研制工业过程智能系统柔性低代码开发平台原型，并在具体行业的工艺优化场景中进行应用验证。

考核指标：提出一套将专家经验知识与数据蕴含规律相结合的工业过程智能系统柔性低代码构建基础理论；形成工业过程智能系统柔性低代码开发平台原型，构建典型大批量定制和多品种小批量制造模式下质量分析与优化的算法及方案，并基于低代码平台实现；选择 3 个及以上行业进行系统性知识融合，建立数据驱动与知识引导结合的工艺知识库；研制智能分析构件/工具集 5 套以上，矩阵相乘、转置、函数求导、卷积等核心科学算子计算性能提升 50% 以上，支持自动化特征工程、数据漂移检测、开集测试等基础性功能，支持可视化、组件化的编排式低代码分析过程构建；在汽车、航发、光电和印染等行业中选择 3 个及以上不同工艺参数优化场景进行应用验证；申请发明专利  $\geq 20$  项，登记软件著作权  $\geq 5$  项。

#### **1.14 基于性能孪生的产品装配精度反演设计优化方法**

研究内容：针对高端装备性能提升的迫切需求，开展基于性能预测的装配精度设计优化基础理论与方法研究。分析装配精度时空衍生与演变机理，研究装配误差感知、传递、累积与协调机制及规律，建立多误差源耦合的装配精度分析与公差协调分配机制；提出考虑装配误差的性能孪生体构建方法，研究基于性能孪生体的装配工艺规划方法与仿真技术，建立基于性能孪生的装配精度设计与动态优化理论和方法；构建装配精度分析、设计、预测、优化等软件构件，形成基于性能孪生的装配精度反演设计优化软件工具，并在航空、航天或兵器领域开展应用验证，为保障

复杂高端装备的高性能提供基础理论与技术支撑。

考核指标：突破产品性能孪生构建的基础理论和核心技术，构建多误差源耦合的装配精度分析、性能孪生体建模、装配精度反演设计与优化等理论模型，建立 1 套基于性能预测的装配精度反演设计及动态优化理论与方法，申请发明专利  $\geq 3$  项；研制装配精度分析、设计、预测、优化等软件构件，形成基于性能孪生的装配精度反演设计优化软件工具，登记软件著作权  $\geq 6$  项；面向航空、航天或兵器等领域，完成典型应用验证，达到装配效率提高 20%、装配一次成功率提升 10% 的指标。

### 1.15 订单驱动的制造产业链完整性评估和风险预警理论

研究内容：针对我国订单驱动的制造业产业链面临的断链、缺链风险等问题，满足中国从制造业大国向制造业强国的转型需求，研究产业链完整性评估理论，结合政府、企业及第三方数据现状，提出评估准则体系；提出基于产业链状态转移的多渠道动态监控的风险识别方法；构建基于生产网络结构和网络节点的产业链完整性评估集成模型，构建基于产业链状态矩阵方法的风险预警模型；结合电子信息、集成电路、装备制造等相关行业的典型企业开展理论、方法和模型的验证。

考核指标：形成产业链完整性和风险评估相关理论，构建订单驱动的制造企业产业链完整性和风险评估准则体系 1 套；针对订单驱动的制造企业，形成基于产业链状态转移的多渠道监控的风险识别方法  $\geq 3$  类；基于交易、委托、运输、仓储、通关、承

运、保险、融资、结算、缴税等多渠道监控的风险识别方法 $\geq 3$ 类；建立基于生产网络结构和网络节点的产业链完整性评估集成模型 $\geq 2$ 个，申请发明专利 $\geq 5$ 项，登记软件著作权 $\geq 5$ 项，开发基于产业链状态矩阵方法的风险预警原型系统1套，在装备制造、电子信息、集成电路等行业的企业得到原型验证。

### **1.16 产业链协作企业群群体智能理论和服务方法**

研究内容：针对制造业产业链供应链重塑以及产业链协作企业群群体协同和服务的重大需求，基于第三方运营的产业链协同平台，研究产业链协作企业群协同模式和群体智能涌现机理，基于企业群协同业务流程、业务数据及标准的群体智能模型，基于企业群协同和服务的实时运行数据体系架构，突破多链协同数据感知和融合、价值挖掘、关联匹配、群智服务等产业链协作企业群群体智能理论和服务方法；研发产业链协作企业群群体智能及服务构件，遴选汽车、家电等产业链协作企业群及具有规模化价值链协同业务数据的第三方平台开展原型验证。

考核指标：研发形成基于第三方平台的产业链协作企业群群体协同智能理论，探索出1类产业链协作企业群群体协同模式，突破多链协同数据感知和融合等技术和方法 $\geq 3$ 类，研发产业链协作企业群群体智能及服务构件 $\geq 10$ 个，登记软件著作权 $\geq 10$ 项，在汽车或家电等产业链协作企业群及第三方平台实现原型验证。

### **1.17 面向“双碳”的能源价值链管控与协同服务理论**

研究内容：针对国家“双碳”目标下制造业能源价值链数字化、

精益化管理需求，解决传统制造企业集群能源服务协同管控效率低、协调互动困难、综合能效差等问题，研究基于数据交互感知与关联融合的制造企业集群多场景用能体系建模方法；研究面向制造企业集群能源系统的分布式对等网络边缘协同控制与仿真建模方法；研究数据驱动下面向多场景生产能效管理的实时性预测、智能化决策、综合状态运维和自适应评价等制造企业集群综合用能服务方法；研究适用于多场景能源服务模式与综合减排管理的制造企业集群能源系统多装备和多资源协同互动与调度管控方法；研究制造业能源价值链核心设备碳排放在线动态评估方法，及考虑系统运行经济性的碳减排智能决策方法；研发具备高精度网络时钟同步和综合用能行为分析与态势预测功能的制造企业能源价值链管控与协同服务原型系统；在化工或装备制造等高耗能行业开展验证。

考核指标：突破多场景能源服务模式下制造企业能源协同管控理论与互动优化技术，构建数据驱动下面向生产能效管理的实时性预测与智能化决策模型，提出碳排放在线动态评估模型与管控方法；研发基于分布式对等网络边缘协同控制架构、且具备综合用能行为分析与态势预测功能的制造企业能源价值链管控与协同服务原型系统（网络时钟最高同步精度不低于 100ns）；在典型行业开展验证，综合能效提升 2%以上；申请发明专利  $\geq 5$  项。

## 2. 共性关键技术类

### 2.1 云边协同的数据采集监控技术与组态工具

研究内容：研究生产过程、设备、环境中传感器、图像、音



视频等全面感知下混合流数据的信息采集与获取方法。研究软件云化与云边协同信息处理方法，实现复杂计算、人工智能、大数据分析等算法云端建模与仿真技术和边缘部署与边缘信息实时处理技术。研究工业互联网软件组态技术，实现软件低代码或无代码开发，研究微服务架构程序开发方法，研发基于数据驱动和知识驱动的微服务程序构建技术，开发云边协同的生产过程数据采集与监控系统软件。

考核指标：研发基于边缘服务的工业互联网数据采集系统，支持 100 种工业协议设备的现场数据采集，实时变量数 10000 个，刷新时间小于 100ms。开发基于数据驱动或知识驱动的微服务程序构建技术和基于工业互联网系统生产过程数据监控软件组态开发技术  $\geq 3$  项，研发 1 套基于微服务架构的组态开发工具软件和组态环境系统运行软件，实现边缘设备、网络通信、实时数据、历史数据、程序界面、任务部署和运行监控等组态开发功能，形成标准 2 项，申请发明专利  $\geq 5$  项，登记软件著作权  $\geq 5$  项；在高端装备、石油、化工或电力等支柱产业进行示范应用。

有关说明：由企业牵头申报。

## **2.2 面向“双碳”目标绿色生产的矿产加工工艺决策与控制一体化优化软件**

研究内容：针对镁、铝、煤、钢、铁等矿产资源与原材料生产加工企业对低碳绿色、高效利用与可持续发展需求迫切，研究基于大数据可视分析的高端产品质量预测、异常诊断与回溯技术；

研究多工序生产全流程高精度建模、工艺参数优化及全流程运行控制模型；开发构建先进工艺与制造可视化及高精度仿真分析工具；集成研发面向减碳提质目标的原材料绿色生产决策与控制一体化融合优化算法库与软件，实现动态供需下工艺参数决策与控制集成，形成智能化生产新模式。

考核指标：形成 20 个以上面向“双碳”目标分析与优化调控算法，申请发明专利 $\geq 5$ 项，登记软件著作权 $\geq 5$ 项。质量及故障原因回溯率大于 97%，反应过程建模精度 95%以上；研发 1 套多层融合决策与控制一体化的软件，在镁/铝/煤/钢铁企业等不少于 5 个典型流程行业应用验证，实现运行优化控制并减少碳排放量 5%以上，降低成本 10%以上。

有关说明：由企业牵头申报。

### **2.3 钢铁轧制全流程工艺优化与管控软件开发**

研究内容：构建多因素耦合作用下的载荷特性求解与材料组织演变模型，研究基于宏—微观耦合分析的高精度解析与数值计算理论，阐明机理模型和生产数据协同的产品综合性能关联机制，建立基于产品质量和生产过程节能降耗的全流程工艺优化算法，研究基于 CAE 仿真的轧制生产过程数字孪生技术，开发全流程工艺优化与管控软件，实现设备关键参数优化设计及产品形性一体化调控。

考核指标：建立负荷分配、工艺温度、力学性能与微观组织等基础模型 $\geq 5$ 个；构建包含材料种类 $\geq 30$ 个、生产线 $\geq 50$ 条的

数据库；开发出界面友好易用、计算高效准确的载荷特性—材料组织协同模拟及全流程工艺优化软件，实现融合物理模型与生产数据分析的形性模拟与关键参数预测，载荷参数预测误差 $\leq 10\%$ ，精准预测晶粒度及相变规律，材料屈服强度、抗拉强度及延伸率预测误差均 $\leq 10\%$ 。开发 1 套基于数字孪生的全流程管控软件，提高生产效率 $\geq 5\%$ 。在 2 家以上企业应用示范。申请发明专利 $\geq 5$  项，登记软件著作权 $\geq 5$  项。

## 2.4 有色金属生产过程多相多场先进工艺控制与优化软件

研究内容：针对有色金属生产过程部分工艺机理不明确、建模仿真难、生产状态自主识别及全流程协同优化难等问题，研究有色冶金过程的物质转化、置换提纯等多相多场耦合机理；研究有色冶金过程分层跨域数据分析和操作知识提取方法；构建面向工艺和流程优化的多相多场机理模型库、分层跨域数据分析算法库和优良操作知识库；研发大型生产装备低碳高效优化运行软件，实现有色金属生产过程的优化运行和综合效率的提高。

考核指标：面向有色金属工业，开发工艺机理模型 2000 个以上、运行优化算法 40 种以上、操作知识模型 100 个以上；申请发明专利 $\geq 10$  项，登记软件著作权 $\geq 10$  项；形成 1 套有色金属工业多相多场先进工艺控制与优化软件，开发 30 个以上动态仿真模型、30 个以上多工况动力学反应模型，稳态仿真相对误差 1%以内，动态仿真相关性 90%以上；在 5 家以上有色金属行业企业实现软件应用验证，并提高企业生产过程运行综合效率 10%以

上，降低企业碳排放 5%以上。

有关说明：由企业牵头申报。

## **2.5 面向多机协作的半导体制造过程物流调度和优化软件开发**

研究内容：针对半导体制造行业智能产线对物料实时调度需求，研发智能工厂物流运输调度管理系统（TMS）。研究基于新一代无线通信技术的智能工厂生产过程物料存储与传送技术，研究智能工厂物流过程中的物料感知与智能操作技术，研究智能工厂物料转运过程中的复合操作与多机型协作技术，研究工厂实时订单数量动态调整配送策略，研究智能工厂物流过程中多移动机器人协同调度与路径优化技术，研究智能工厂全域物流管控软件架构与图形化技术，实现智能工厂物流调度软件（TMS）研发与应用。

考核指标：突破基于 5G 无线网络的智能工厂物料存储与配送技术 3 项以上；开发工厂实时订单数量动态调整配送算法：系统平均响应时间 100ms、可以同时处理 100 个订单的并发量；研制 1 套面向多机器人协作的智能工厂物流调度和路径优化的管控软件（TMS）：支持单场景下 3 种以上、数量大于 50 台多移动操作机器人实时调度，具备车间物料在存储、配送、上下料、生产制造等环节的统一建模与仿真、图形化操作、协同调度与优化功能；制定团体标准  $\geq 2$  项，申请发明专利  $\geq 5$  项，登记软件著作权  $\geq 5$  项；在半导体晶圆制造与封装测试环节各形成 2 个以上的落地应用。

有关说明：由企业牵头申报。

## 2.6 面向多场景定制的航空航天装备制造运营管控软件低代码开发平台与应用

研究内容：针对工艺、排产等诸多柔性制造环节持续演进，引发制造运营管控（MOM）系统需求变更频繁，多场景联动集成开发与高效部署复杂的难题。研究 MOM 需求/设计/开发一体化建模理论、表达模式和映射跟踪方法，形成多角色、多模态人机交互的 MOM 建模技术。研究多场景业务域、设计域和代码域中符号、关系、逻辑统一语义表达方法，形成 MOM 业务抽象、数据抽象和资源抽象体系。研究 MOM 多场景单元封装适配的代码自动化重构技术，形成高可扩展的 MOM 低代码开发框架。研发 MOM 低代码软件开发平台，形成面向制造企业多场景联动集成开发与高效部署的示范应用。

考核指标：研发 MOM 低代码需求/设计/开发一体化平台与工具 1 套，高时效、低延时、并行化多粒度构件调度引擎 1 个，可重用的开放式业务构件 500 项以上，通过业务构件编排与装配支持定制开发占比达 50%以上，缩短开发周期 30%以上。申请发明专利  $\geq 5$  项，登记软件著作权  $\geq 5$  项。在 3 家以上航空航天装备制造型企业应用示范，采用多角色多模态人机交互建模开发场景单元 200 个以上，代码自动生成占比达 70%以上。

## 2.7 核能装备安全控制代码自动生成软件研发与应用

研究内容：针对核能装备领域安全控制代码自动生成的高可

靠、确定性、快响应的需求，研发安全控制系统设计研发平台；研究基于形式化理论的软件代码生成一致性证明技术、同步数据流语言状态机定义与验证技术、安全语言子集形式化语义定义方法、功能组态建模方法和算法模型自动正确性检查等关键技术；研究多粒度模型测试用例智能生成、虚拟仿真驱动及自动化测试等高可信嵌入式测试关键技术；研究人机交互界面动态图元控件建模和可视化交互模型等人机交互技术；研究软件对核级标准的符合性技术；在中国工程试验堆等多个核能型号工程装备上开展应用验证。

考核指标：研发具备组态建模、虚拟仿真、可信代码自动生成、自动检测和远程监控软件等功能的高可靠嵌入式设计软件一套，覆盖模型到可执行代码生成全生命周期；设计软件满足 IEC 61508 和 IEC60880 等标准要求，并通过国家核监管认证；支持 2 级生成代码优化，LUSTRE V6 基础算子  $\geq 60$  个，核领域常用算子  $\geq 100$  个；申请发明专利  $\geq 10$  项，登记软件著作权  $\geq 10$  项，制定国家/行业标准  $\geq 3$  项；在至少 2 个典型核动力工程项目上应用，超过 100 个控制站。

## **2.8 全价值链产品质量精益管控智能分析软件**

研究内容：针对流程行业制造过程中生产状态波动大、工艺复杂、过程质量控制约束多、机理融合困难等问题，研究全价值链人工智能与自控理论融合的新方法与新模式；研究质量和运行数据的分布式高速高效准确感知技术、全局质量数据空间构建技

术，攻克面向流程制造领域的全要素智能化模型预测控制（MPC）技术、超多维/强关联参数自主优化与学习技术、群体协同技术等；研究基于海量流程数据与工艺模型融合的开源体系和智能控制机制，突破 IT 和 OT 集成技术瓶颈，构建完备的系统辨识与仿真模型、控制决策函数库和工具集，具备支持现场实时响应与弹性计算的“云一边一端”接入能力；研究人机协同增效的数字化产品质量精益管控与动态优化体系，研发形成面向产品质量精益管控的智能分析系统；选择橡胶轮胎、化工、食品饮料、新能源等 2 个及以上流程行业开展应用验证。

考核指标：形成 1 套人工智能与自控理论相结合的新理论、新方法、新模式；突破质量数据高速感知等 10 项以上关键技术；研发 1 套面向产品质量精益管控的智能分析系统、函数库与工具集，涵盖 20 种以上可信人工智能算法模型和 20 种自控算法，核心算法具备质量感知、控制指令优化、自主深度学习、人机交互、自组织、自演化功能，且精度达到国外同类软件水平；申请发明专利  $\geq 5$  项，登记软件著作权  $\geq 5$  项，国际/国家/行业或企业标准  $\geq 3$  项；在相关流程企业实施后，首次通过率（FTT）提升 20%，企业关键活动效用指标（SQCDM）综合改善 20%以上。

## **2.9 基于产品设计与运维协同的动力电池工业软件研发**

研究内容：针对系统性运维和生命周期管控需求迫切的大规模制造产品对工业软件的发展需求，研究动力电池全生命周期管理和系统性运维模式、基于多物理场耦合的设计/运维一体化模

型、基于统一建模与仿真环境的产品设计验证方法；研究生命周期仿真、性能评估评价、可靠性分析以及设计/运维协同等方法和技术；研发动力电池设计与仿真工业软件，构建端—云融合的动力电池运维平台，支持动力电池全生命周期的运维和管控；开展应用验证。

考核指标：突破基于电化学、热、机械、流体场耦合的动力电池一体化模型构建等关键技术，模型求解计算速度提升 $\geq 10\%$ ，计算误差 $< 2\%$ ；研发基于一体化模型的动力电池设计与仿真工业软件，构建形成端—云融合的动力电池运维平台，实现设计与运维的协同；申请发明专利 $\geq 5$ 项，登记软件著作权 $\geq 10$ 项；平台应用电池企业 $\geq 3$ 家，支撑累计 $\geq 20$  GWh 动力电池运行管理和维护。

## **2.10 支持动态重构的装备制造企业智能运营决策关键技术**

研究内容：针对不稳定不确定环境下企业运营风险防范、实时感知与决策、流程动态优化的需求，面向采购、生产、营销、运维等全业务流程，研究基于业务流程融合和闭环反馈的多场景决策模型和知识图谱构建方法，研究多业务融合的数据合成策略、业务态势全景感知技术、事件驱动的实时分析和增强分析技术、人机协同决策技术、基于决策闭环反馈的业务流程动态重构机理和业务流程智能优化技术；建立涵盖生产过程风险管控、制造资源协同优化、精准运维服务的智能运营决策模型库，形成情景式自助分析工具、面向高价值和复杂业务流程的动态优化工具，开发支持动态重构的制造企业智能运营决策系统，支持制造企业



ERP 等业务系统实现嵌入式运行过程的高度智能化与自动化。

考核指标：突破面向多业务场景决策模型的知识图谱构建、业务态势全景感知、事件驱动的实时分析与增强分析、面向决策闭环反馈的工业流程智能优化等关键技术  $\geq 5$  项，建立包括 10 项以上智能运营管理决策模型的模型库，形成 1 组情景式自助分析、动态优化工具；研发 1 套支持动态重构的制造企业智能运营决策系统，在工程机械、航空航天、兵器装备、轨道交通等装备制造行业进行应用验证，企业运营效率提升 30%；申请发明专利  $\geq 5$  项，登记软件著作权  $\geq 10$  项，制定国家/行业或企业标准  $\geq 3$  项。

有关说明：由企业牵头申报。

## **2.11 规模化制造产业配件供应链多链协同平台研发与应用**

研究内容：针对规模化制造产业中大规模社会保有产品运维服务的配件供应与协同服务问题，研究基于第三方平台的网状结构配件供应链协同体系架构，面向产品服务生命周期的配件供应链多链协同和服务业务流程、数据驱动的配件多源信息识别/追溯/需求预测等配件供应链协同和服务关键技术；研发配件供应链多链协同服务云平台，构建第三方运营服务体系；遴选汽车或家电等典型规模化制造产业，构建配件供应链多链协同和服务的典型应用场景，开展应用示范。

考核指标：研发建立基于第三方运营的配件供应链多链协同服务云平台 1 个，攻克网状结构多链协同和服务关键技术  $\geq 5$  项，研发相关构件  $\geq 10$  个；登记软件著作权  $\geq 10$  项；完成支撑网状

结构多链协同和服务的团体/联盟或企业标准 $\geq 5$ 项；构建配件供应链多链协同和服务应用场景 $\geq 3$ 个，形成典型案例；平台各类应用企业累计 2000 家以上，其中开展上下游协作的各类核心企业 $\geq 10$ 家。

## **2.12 面向中小企业研发制造资源工业互联网技术服务平台**

研究内容：针对中小企业技术创新、节本提效、工业互联等需求，研究面向中小企业的工业互联网云端融合集成应用服务模式；研制多层次、多样化生产设备及科学仪器连接协议，研发及制造资源互联互通服务化接入标准；研究面向多模态接入的开放终端架构、基于规则链的工业微服务组合、云端融合应用动态构建与部署等技术；研发工业互联网技术服务平台，提供设备仪器和研发资源互联共享、远程健康维护等服务；开发中小企业工业互联网应用云端融合快速构建解决方案，并开展应用；建立政产学研结合服务体系。

考核指标：提出中小企业工业互联网云端融合集成应用服务模式；突破多模态开放终端、规则链工业服务组合、云端融合应用部署等工业互联网快速构建关键技术 $\geq 5$ 项，形成设备及仪器资源互联互通接入标准 $\geq 5$ 项；开发云端融合接口、协议、模型 $\geq 200$ 项；建立中小企业研发制造资源工业互联网技术服务平台 1 个，实现研发制造资源互联共享、远程健康维护等，服务中小企业 1000 个以上，接入 30000 台以上科学仪器；形成面向 5 个以上行业、10 个以上场景的工业互联网快速应用解决方案 20 个以

上，支持 10 种以上协议、50 类以上智能诊断，在 500 以上企业应用；培育第三方平台服务商 1 家，形成标准  $\geq 5$  项，申请发明专利  $\geq 10$  项，登记软件著作权  $\geq 10$  项。

### 2.13 产品回收拆解再利用全流程管控平台研发与示范

研究内容：针对家用电器行业产品设计制造服务与退役回收脱节、回收体系不健全、产品再利用率低等问题，研究以生产者责任延伸制为核心的家电产品回收拆解再利用网络与销售服务网络相融合的价值循环生态体系与运营模式；制定产品回收全过程数据采集/传输、物流与材料管理、拆解检测、再生利用及环保处理等全流程规范与标准；研究基于产品回收大数据的碳足迹核算技术，基于区块链、标识解析的产品回收再利用可信追溯技术，数据驱动的产品拆解精益管控、产品智能识别评估、产品设计与再利用协同等技术；研发面向生产企业的产品全生命周期绿色循环综合管控平台，构建符合国家主管部门监管要求的行业绿色循环大数据平台及管理体系；在家电行业建设全链路数字化拆解再利用工厂并开展平台应用示范。

考核指标：构建 1 套以生产者责任延伸制为主的产品全生命周期绿色循环综合管控平台，开发工业应用软件/小程序  $\geq 10$  个，核心关键技术与工具  $\geq 10$  项；通过项目平台及数字化拆解工厂的应用示范，实现平台的常态化运行，平台应用示范覆盖回收网点  $\geq 3000$  个；支持废旧家电回收过程的全程可视管控，实现拆解过程的智能全量审核，提高监管核查效率 15% 以上，提升拆解效率

与资源回收再利用效率 15%以上；申请发明专利 $\geq 5$ 项，登记软件著作权 $\geq 10$ 项；制定产品回收全过程相关国家或行业或企业标准规范 $\geq 3$ 项。

有关说明：由家电制造企业牵头申报。

## **2.14 流程制造资源与能源计划排产软件研发与应用**

研究内容：研究人工智能、工业互联网等现代信息技术助力实现双碳目标的流程制造资源与能源计划排产关键技术及软件平台，解决国产化大型石化和水泥企业生产计划排产软件难题。具体包括：研究流程制造物质/能源转化机制，开发基于过程机理和装置运行特性共融的生产工艺模型库；研究物质流/能量流/信息流关键变量跨流程/跨层级传递机制，提出基于流程结构的物料分层定价和全流程价值链表征方法；融合领域知识，创新大规模工业过程计划排产的高效求解新方法；研制跨平台/高并发/图形化计划排产服务平台架构，开发基于微服务工作流的资源与能源计划排产工业软件及系统。

考核指标：研发具有普适性的生产计划排产智能算法引擎，支持年/季/月/旬（周）多时间尺度、资源与能源耦合的非线性计划排产，支持底层模型库 $\geq 100$ 个，行业级生产工艺模型库 $\geq 10$ 个，构建典型流程行业原料数据库，原料品种 $\geq 1000$ 种；形成高效求解算法库，算法数量 $\geq 24$ 种；以月度平衡数据为基准，计划方案关键指标执行偏差率降低 20%以上；申请发明专利 $\geq 10$ 项，登记软件著作权 $\geq 30$ 项；支撑石化和水泥等典型流程行业生产企

业（石化：同时具备千万吨级及以上炼油和百万吨级及以上乙烯的大型炼化一体化企业；水泥：具备 1 万吨/天及以上熟料生产线的大型水泥企业）资源能源计划排产决策，示范应用企业  $\geq 5$  家。

浙江大学 kjcgx