

附件 1

**智能制造系统和机器人国家科技重大专项
2026 年度项目（第三批）
申报指南**

工业和信息化部

二〇二六年七月

目 录

一、共性与支撑技术.....	1
(一) 三维数字化工艺设计与验证.....	1
项目 1.1.1.8: 一体化压铸工艺优化与工装适配技术研发及验证.....	1
项目 1.1.1.9: 支持精密部件近零修配的加工—测量—装配工艺优化软件研发及验证.....	6
(二) 工业网络与跨域集成.....	12
项目 1.2.1.3: 100Mbps 级高带宽长距离单对线以太网物理层通信芯片研制及验证.....	13
项目 1.2.3.1: 高精同步高可靠低时延工业无线短距通信芯片研制及验证.....	17
项目 1.2.4.1: 面向工业本体构建的工厂级语义互操作与集成应用平台研发及验证.....	22
(三) 制造智能与行业知识模型.....	27
项目 1.3.1.1: 面向复杂装备设计制造一体化的校验评估多智能体研发及验证.....	27
项目 1.3.1.2: 新能源汽车供应链风险预警与管控服务平台研发及验证.....	32
(四) 智能制造新技术标准.....	38
项目 1.4.1.3: 面向工业智能模型的数据质量动态评测技术及标准研制.....	38
项目 1.4.2.5: 面向生产管控的智能体集成应用框架与协同部署技术及标准研制.....	43
项目 1.4.3.2: 新型智能工厂体系架构与关键要素测评技术及标准研制	

.....	48
二、工业机器人与智能检测装备	53
(一) 智能检测装备	53
项目 2.2.1.7: 精密异形零件高反光表面形貌检测装备研制及验证..	53
项目 2.2.2.7: 船舶主承力结构钢全厚度质量状态扫描检测系统研制及 验证.....	58
三、先进自动化与智能管控系统	63
(一) 高端控制器与自动化仪表	63
项目 3.1.4.1: 高品质钢生产过程在线质量监测与优化调控系统及工程 验证.....	63
(二) 离散制造柔性管控系统	69
项目 3.2.1.8: 大型水电机组跨企业制造资源调度与质量管控平台研制 及工程验证.....	69
项目 3.2.2.3: 汽车制造生产线仿真与虚拟调试软件研制及工程验证	74
项目 3.2.3.3: 大涵道比商用航空发动机转子堆叠装配系统研制及工程 验证.....	80
(三) 过程工业全流程优化系统	84
项目 3.3.1.3: 高压强放热反应装置运行风险评估与主动防控软件研制 及工程验证.....	84
项目 3.3.1.4: 烯烃—聚烯烃生产过程能质耦合工艺仿真软件研制及工 程验证.....	90
四、中试验证平台与行业解决方案	96
(一) 中试验证技术与平台	96
项目 4.1.3.3: 船舶组立结构典型制造工艺与机器人装备中试平台..	96
项目 4.1.3.4: 新能源汽车轻量化制造连接工艺和关键设备中试平台	101

项目 4.1.3.5: 电子产品高精密装配机器人单元中试平台	105
(二) 高速重载列车多学科协同设计与工艺集成解决方案.....	110
项目 4.2.2.1: 轨道交通列车机电系统设计制造一体化系统研制与示范 工程.....	110
(三) 新能源汽车高效柔性制造系统解决方案与示范工程.....	117
项目 4.3.2.3: 新能源汽车跨平台车型共线制造柔性焊装系统研制与示 范工程.....	117

一、共性与支撑技术

（一）三维数字化工艺设计与验证

项目 1.1.1.8：一体化压铸工艺优化与工装适配技术研发及验证

1. 研究目标

针对新能源汽车一体化压铸生产中模温分布不均、多工艺参数耦合优化难、产品换型效率低、与冲压车身连接适配要求高等痛点问题，突破超大型压铸模温全域监控、复杂工况下压铸关键工艺参数动态优化、多品种压铸件工装及工艺参数快速匹配等关键技术，研究一体化压铸模温自适应调控、多物理场耦合的压铸工艺参数动态调优、压铸产线快速换型智能匹配等算法模型，研发一体化压铸工艺智能优化软件与面向冲压车身装配的工装适配系统，在新能源汽车一体化压铸产线开展应用验证，验证压铸件与冲压车身的连接尺寸兼容性与连接可靠性，支持对多车型跨平台混线生产系统的快速重构，显著缩短新能源汽车压铸换型周期。

2. 研究内容

（1）基于多物理场耦合的一体化压铸工艺智能优化技术

研究压铸充型、凝固、冷却全流程的“热一流一力”多物理场耦合建模方法，构建涵盖超大型复杂模具温度、压力、真空度等多维度参数的压铸工艺仿真数据库；研究基于多物理场耦合的压铸工艺参数动态调优算法、基于 AI 代理模型

的快速仿真质量预测模型，研发基于多物理场耦合的一体化压铸工艺智能优化软件，支持一体化压铸工艺智能调参、铸件成形质量及冲压车身连接配合精度的动态预测。

（2）一体化压铸模具多传感器智能感知与多参数联合标定技术

研究一体化压铸模具关键区域识别与模具腔内多传感器精准布局方法，突破高温、高压、强振动恶劣工况下关键工艺参数监测技术，建立铸件关键连接特征在线感知方法，构建多传感器智能感知与监测系统；研究工艺、质量多源数据高精度采集与治理技术，构建全流程动态数据清洗与异常状态识别算法，研究多传感器参数与仿真精度标定策略，为压铸过程智能控制及面向冲压车身连接的质量闭环管控提供核心数据支撑。

（3）超大型模具一体化压铸模温智能调控技术

研究汽车一体式后地板/前机舱等超大型模具在高温高压工况下的温度场高精度建模技术，研究模具温度场与铸件典型缺陷的关联映射机制，构建数字孪生驱动的缺陷预判模型；研究模温分区梯度控制策略与自适应调控算法，开发一体化压铸模温分区监测与控制系统，支持模温实时感知、缺陷预判、自主调节等功能，实现模具全域温差精准控制，提升大型薄壁压铸件尺寸精度。

（4）超大型模具自动换型精准对接与动态调度协同优化技术

研究面向超大型模具自动换型的一体式集成与快速对接技术，开发模具冷却管路连接一体式集成板；研究面向快速换型的智能化工艺配方生成技术，构建面向多车型一体化压铸件—冲压车身连接与工装的智能快速匹配调度模型，研制超大型模具自动化换型精准对接与检测系统，实现工装配置、工艺参数、换型调度序列等核心要素的协同优化。

（5）一体化压铸产线工装适配系统研发及应用验证

研究一体化压铸产线快速换型场景下的工装分类体系与数字化表征方法，构建支撑快速换型的工装基础资源库；研制一体化压铸产线工装适配系统，支持“车型—工艺—工装”一体化快速换型和智能匹配；在新能源汽车行业开展一体化压铸工艺优化与工装适配技术验证，实现多车型跨平台的快速换型与混线生产，并验证压铸件与冲压车身连接的尺寸兼容性，显著缩短换型周期。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）压铸工艺仿真数据库，涵盖充型速度、压力、模温参数等核心工艺参数及压铸件与冲压车身连接配合面等相关参数 ≥ 10 个，工艺数据条目 > 500 条。

（2）多传感器智能感知与监测系统，支持模具腔内金属液压力及温度、冷却介质压力、真空度等不少于 4 种、数量不少于 12 个的工艺参数动态监测。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（3）一体化压铸工艺智能优化软件，具备关键工艺参数智能匹配与铸件质量监测等功能，支持新能源汽车冲压及一体化压铸工艺智能生成，工艺自动生成准确率 $\geq 90\%$ ，压铸工艺仿真精度 $\geq 90\%$ ，支持冲压及一体化压铸工艺设计效率提升 $\geq 20\%$ 。

（4）一体化压铸模温分区监测与控制系统，支持模温实时监测、缺陷预判与自主调节，模温智能控制系统分区控制精度优于 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，大型薄壁压铸件尺寸精度 $\geq 96\%$ 。

（5）超大型模具自动化换型精准对接与检测系统，支持不少于 10 种车型的模具、喷涂、取件及定位工装自动化换型，换模时间 $\leq 7\text{h}$ ，切换效率提升 $\geq 50\%$ ；部品尺寸检测夹具通用化率 $\geq 80\%$ ，作业自动化率 $\geq 90\%$ ，单件全型面扫描耗时 $\leq 20\text{min}$ 。

（6）模具冷却管路连接一体式集成板，集成管路数量 ≥ 120 路，自动拆或自动装时间 $\leq 5\text{min}$ ，模具磁吸倒拉杆拆装时间 $\leq 15\text{min}$ ，柔性工装及抓手支持 ≥ 4 种，支持后地板铸件一键式自动切换生产。

（7）一体化压铸产线工装适配系统，包含“车型—工艺—工装”智能匹配决策智能体，实现多车型与工装智能匹配准确率 $\geq 95\%$ ，换型方案自动生成响应时间 $\leq 30\text{s}$ ；多车型伺服柔性工装的基础资源库，覆盖工装类型不少于 5 类，支持不少于 10 种车型的快速换型。

工程化指标:

到 2027 年 12 月, 完成以下指标:

(1) 一体化压铸模温分区监测与控制系统在不少于 4 条 7000 吨级及以上、模具尺寸 $> 2.5\text{m} \times 3.2\text{m}$ 、模具数量不少于 12 副的压铸产线上安装部署, 完成分区梯度温度控制策略及质量保证策略调试验证, 实现每条线减少工废件数量 2000 件/年以上, 一体化压铸后地板/前机舱工废率¹降低 $\geq 50\%$ 。

到 2029 年 10 月, 完成以下指标:

(2) 一体化压铸工艺智能优化软件与工装适配系统技术就绪度 (TRL) ≥ 8 级, 产品设计定型, 经小批量生产和实际环境下充分使用, 累计运行时间 ≥ 3 个月, 获得用户认可。

(3) 超大型模具自动化换型精准对接与检测系统在 7000 吨以上压铸产线上完成应用验证, 实现跨平台多车型产品工装、模具、夹具、检具全线一体换型时间² $\leq 8\text{h}$, 模具切换到实际执行时间缩短 $\geq 50\%$, 铸件合格率³ $\geq 98\%$ 。

(4) 一体化压铸工艺智能优化软件与工装适配系统在 7000 吨级及以上压铸产线完成快速换型技术方案生成及验证, 在不少于 10 个车型的后地板/前机舱产线开展应用验证, 换型工艺爬坡时间由 21h 缩短至 8h 以内, 换型效率提升

1 工废率=工艺废品数量/生产的产品总数 $\times 100\%$; 工废是指铸造生产中为提升模具温度使产品快速达成质量要求所必须产生的工艺废品。

2 跨平台多车型产品工装、模具、夹具、检具全线一体换型时间基线值为 16h。

3 铸件合格率基线值为 92%。

≥50%。

(5) 一体化压铸工艺智能优化软件、一体化压铸模温分区监测与控制系统等项目成果在汽车、工程机械等行业不少于 3 类一体化压铸零部件的研制过程中进行推广应用。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 2.5:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具备 7000 吨级及以上一体化压铸产线多车型跨平台实际应用经验的国内新能源汽车整车制造或一体化压铸零部件制造企业，应与国内整车制造企业、压铸装备/模具制造企业、科研院所、高等院校等联合申报，申报联合体应具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：一体化压铸、冲压车身连接适配、工艺优化、快速换型、多物理场耦合

项目 1.1.1.9：支持精密部件近零修配的加工—测量—装

配工艺优化软件研发及验证

1. 研究目标

针对船舶、航空航天等行业精密部件制造过程中，尚未实现多零件间的工艺协同调控、面向装配质量的零件加工工艺动态优化，导致精密部件装配质量依赖零件反复修配等问题，研究精密部件装配质量预测及异常溯源、加工装配过程“几何—形位”测量数据分析与方案优化、“加工—测量—装配”工艺协同与动态调控技术，研制精密部件近零修配的“加工—测量—装配”工艺协同调控软件并开展中试验证，在船舶、航空航天等行业典型精密部件制造场景开展应用验证，提升精密部件一次性装配合格率，实现近零修配。

2. 研究内容

（1）精密部件装配质量预测及异常溯源技术

研究工艺参数、工序质量与加工质量的关联关系，构建零件加工全过程质量预测模型；研究加工质量、装配工艺与装配质量的关联关系，构建精密部件装配质量预测模型；研究精密部件装配质量异常溯源方法，精准定位异常工序，形成近零修配异常溯源模型；研究切削工艺模型的自动建模和仿真，实现工艺虚拟验证；研制船舶、航空航天等行业精密部件装配质量预测、异常溯源及切削工艺仿真模型库，为精密部件的装配质量预测、质量异常溯源和切削工艺仿真提供模型支撑。

（2）精密部件加工装配过程“几何—形位”测量数据

分析与方案优化技术

研究“加工—测量—装配”基准对齐、加工与装配多环节测量数据统一表征及特征提取方法，形成统一测量数据与关键质量特征数据集；研究几何尺寸/形位误差参数分析方法，实现尺寸偏差、轮廓度、装配间隙等关键参数的计算、评价与一致性分析；研究加工过程几何误差、装配过程形位偏差与加工/装配质量之间的关联关系，构建面向加工与装配全过程的质量评价模型；研究面向在机/在线/离线多种测量方案的精度、成本、效率等指标的评估方法，形成多模态几何尺寸/形位特征提取及误差测量优化工具包，为装配质量预测和工艺调控提供数据支撑。

（3）精密部件“加工—测量—装配”工艺协同与动态调控技术

研究装配质量预测模型与工艺优化的耦合驱动机制，建立预测偏差与加工工步序列、工艺参数和资源配置等的映射关系；面向配合精度、密封性能、运动性能，研究“质量—效率—成本”多目标工艺优化策略，构建“加工—测量—装配”动态工艺优化模型；研究测量数据驱动的工步偏差补偿方法，实现工步偏差动态调控；研发具备映射关系定义、工步偏差补偿及工艺协同优化等功能的决策与调控组件库，支撑典型精密部件“加工—测量—装配”全过程工艺调控。

（4）精密部件近零修配的“加工—测量—装配”工艺协同调控软件研制与中试验证

研究“加工—测量—装配”工艺协同调控软件在分级管控网络环境下的协同架构，实现面向设备与信息化管理系统的数据交换、边端采集与任务交互；研究分布式服务组件封装方法、面向切削过程的刀轨“几何—物理”仿真技术，集成装配质量预测与异常溯源模型库、切削工艺仿真模型库、多模态几何尺寸/形位误差特征提取及测量优化工具包、决策与调控组件库等组件，研制支持精密部件近零修配的工艺协同调控软件，实现测量数据分析与方案优化、精密部件装配质量在线预测、加工/装配工艺参数协同优化等功能；在具备精密部件近零修配工艺场景的环境下，开展工艺协同调控软件中试验证。

（5）典型精密部件“加工—测量—装配”工艺协同调控应用验证

面向船舶、航空航天等行业典型精密部件，构建面向在机/在线/离线等测量场景的全流程质量检测系统，实现加工装配过程质量动态感知；研究面向精密部件近零修配的“加工—测量—装配”工艺协同调控软件分布式部署方法，实现协同调控软件与加工产线/单元、测量装备的集成，形成“加工—测量—装配”工艺优化平台；开展质量预测、协同调控等功能验证，提升船舶、航空航天等行业典型精密部件装配一次性合格率，实现近零修配。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）切削工艺仿真模型库，涵盖船舶、航空航天等行业典型精密部件切削工艺自动建模、工艺自适应补偿等核心算法，切削工艺自动建模效率¹提升 $\geq 60\%$ ，算法包核心代码开源比例 $\geq 50\%$ 。

（2）特征提取工具，支持尺寸偏差、面轮廓度、圆度、装配间隙等不少于 10 项关键几何尺寸/形位误差参数的特征提取，关键质量特征提取准确率² $\geq 95\%$ 。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（3）装配质量预测与异常溯源模型库，包括同轴度、垂直度、装配间隙等不少于 5 类指标的装配质量预测与异常溯源模型，预测准确率 $\geq 90\%$ ，装配质量异常溯源准确率⁴ $\geq 90\%$ 。

（4）加工过程几何误差、装配过程形位偏差等关键测量参数与加工/装配质量之间的关联关系模型，覆盖不少于 10 项关键测量参数。

（5）多模态几何尺寸/形位误差测量优化工具包，支持船舶、航空航天等行业不少于 5 种精密部件高精度形貌尺寸在机/在线/离线等多种模式的测量方案优化，实现孔轴密封、

1 切削工艺自动建模效率=（手工建模用时 - 自动建模用时）/手工建模用时 $\times 100\%$ 。

2 关键质量特征提取准确率=正确提取样本数量/总提取样本数量 $\times 100\%$ 。

4 装配质量异常溯源准确率=溯源结果正确数量/异常总数量 $\times 100\%$ 。

同轴度、装配间隙等关键重要特征测量效率提升 $\geq 20\%$ ，形貌轮廓质量评定准确率¹ $\geq 99\%$ 。

（6）“加工—测量—装配”决策与调控组件库，基于“加工—测量—装配”一体化的自适应补偿调控一次成功率² $\geq 95\%$ 。

（7）“加工—测量—装配”工艺协同调控软件，实现精密部件装配质量在线预测、加工质量完备表征以及工艺参数协同优化；装配质量预测结果准确度 $\geq 95\%$ ，工艺参数协同优化匹配精度³ $\geq 95\%$ ；闭环控制响应时间 $\leq 50\text{ms}$ 。

工程化指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）构建“加工—测量—装配”工艺优化平台，支持三坐标测量机、结构光扫描仪、线激光轮廓仪等接触式/非接触式多模态测量设备、零件加工设备的灵活接入，接入设备数量 ≥ 20 台（套）。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（2）精密部件近零修配的“加工—测量—装配”工艺协同调控软件技术就绪度（TRL） ≥ 8 级，产品设计定型，经小批量生产和实际环境下充分使用，累计运行时间 ≥ 3 个月，获得用户认可，通过首版次软件评测。

（3）完成“加工—测量—装配”工艺优化平台与船舶、

1 形貌轮廓质量评定准确率=评定结果正确数量/轮廓评定总数量 $\times 100\%$ 。

2 自适应补偿调控一次成功率=单次调控达标次数/调控总试验次数 $\times 100\%$ 。

3 工艺参数协同优化匹配精度=符合约束目标工况的参数组数/优化参数总组数 $\times 100\%$ 。

航空航天等行业不少于 5 种精密部件产线典型加工装备、测量装备的集成联调。

(4) 船舶、航空航天等行业不少于 5 种精密部件一次性装配合格率¹≥95%。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 2.5:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为船舶、航空航天领域具备精密部件加工及装配能力的总装制造企业或科研院所，应与国内相关优势企业、高等院校、科研院所等联合申报，鼓励产学研用单位联合申报，申报联合体应具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：近零修配，装配质量预测，测量分析与优化、工艺协同调控

(二) 工业网络与跨域集成

¹ 一次性装配合格率=首次装配合格产品数/装配产品总数×100%。

项目 1.2.1.3：100Mbps 级高带宽长距离单对线以太网物理层通信芯片研制及验证

1. 研究目标

针对智能仪表远程实时监控与调度、高危区域过程控制与视频监控一体化、预测性维护与远程运维等流程工业应用对于高带宽、长距离的数据传输需求，突破复杂链路信号失真抑制、高精度时钟恢复、高性能前向纠错等关键技术，研制具备 100Mbps 传输速率、500m 以上传输距离的单对以太网物理层通信芯片，研制基于芯片的仪表终端样机，构建测试验证系统完成芯片核心功能和性能验证，在流程工业典型场景实现应用验证，支撑智能控制系统的高速跨域互联、多维信息实时回传、视觉与控制数据共线传输等技术落地，为我国新一代工业网络的技术发展和产业生态布局提供核心技术支撑。

2. 研究内容

（1）高精度模数混合接收机设计和数字建模技术

研究支持 100Mbps 传输速率、500m 以上传输距离的弱信号精确量化和高精度时钟数据同步机制，突破高精度、高动态范围模数转换与低抖动时钟数据恢复等关键技术；研制 100Mbps 级物理层通信芯片模数转换器和时钟数据恢复等关键单元，构建物理媒介层数字模型，支持长距离衰减和强干扰下的弱信号精准采样、还原与误差校正能力验证。

（2）高带宽复杂链路信号处理算法及原型系统

研究支持 100Mbps 传输速率、500m 以上传输链路的信号失真抑制机理，突破高阶多源回声消除、低失真混合均衡等关键技术，建立融合前馈/反馈均衡与自适应增益调节的协同机制；研制适用于 100Mbps 级物理层通信芯片的数字信号及物理编码子层单元，构建芯片原型系统样机，支持复杂布线和恶劣电磁环境下信号畸变修复和快速收敛能力验证。

（3）100Mbps 级高带宽长距离单对线以太网物理层通信芯片

研究高性能、低功耗的物理层通信芯片架构设计方法，完成物理编码层、算法处理层、物理媒介层的全链路集成，突破数模混合电子系统级仿真、高性能前向纠错编码、链路自适应自协商等关键技术；研制具备 100Mbps 传输速率、500m 以上传输距离的单对线以太网物理层通信芯片，具备链路质量分析和参数动态匹配能力，实现复杂工业环境下长距离、高带宽、高可靠的全双工传输。

（4）100Mbps 级高带宽长距离单对线以太网物理层通信芯片测试验证系统

研究 100Mbps 级物理层通信芯片核心功能与性能测试方法，突破通信距离、通信带宽、自协商等芯片关键指标测试技术；研制集成物理层通信芯片的仪表终端样机，具备长距离高带宽传输、通信供电一体等功能；构建由仪表终端样机、交换设备、控制器等组成的 100Mbps 物理层通信芯片测试验证系统，具备峰值通信速率、极限通信距离、长期运行

稳定性等验证能力；在典型工业场景开展现场应用验证，评估在真实工业环境中的工程适用性。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）100Mbps 级高带宽长距离单对线以太网物理层通信芯片物理媒介层数字模型，ADC 采样率 $\geq 100\text{Mbps}$ ，频率捕获范围 $\geq 100\text{ppm}$ ；支持 100Mbps 通信速率，通信距离 $\geq 500\text{m}$ 仿真验证。

（2）100Mbps 级高带宽长距离单对线以太网物理层通信芯片原型系统样机，支持 100Mbps 通信速率下全双工传输，通信距离 $\geq 300\text{m}$ ，支持 PAM3 调制、80M Baud 符号速率。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（3）100Mbps 级高带宽长距离单对线以太网物理层通信芯片，支持单对双绞线实现 100Mbps 通信速率下全双工传输、通信距离 $\geq 500\text{m}$ ；支持前向纠错编码，误码率 $\leq 10^{-9}$ ；时钟固有抖动 $\leq 0.05\text{UI}_{\text{rms}}@25^{\circ}\text{C}$ ；功耗 $\leq 300\text{mW}$ （ 1.0V_{pp} ，最优供电模式下）；支持通信供电一体；抗静电能力 $\geq 2\text{kV}$ ；支持 1.0V_{pp} 和 2.0V_{pp} 工作模式；支持 10/100Mbps 协议自协商，支持链路诊断、多层级回环调试功能；支持线缆极性侦测和自动反转功能；工作温度： -40°C — $+85^{\circ}\text{C}$ 。

（4）100Mbps 级高带宽长距离单对线以太网物理层通信芯片测试验证系统，集成不少于 32 个仪表终端样机，支

持 10Mbps 与 100Mbps 混合组网，具备协议自协商、通信距离 $\geq 1000\text{m}$ 、通信速率 $\geq 100\text{Mbps}$ 、传输可靠性、时延、抖动等不少于 10 个关键功能与性能指标的测试验证能力。

工程化指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）100Mbps 级高带宽长距离单对线以太网物理层通信芯片数字信号处理单元原型系统样机完成功能验证。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（2）100Mbps 级高带宽长距离单对线以太网物理层通信芯片技术成熟度（TRL） ≥ 7 级，在运行环境中完成芯片的功能和性能测试验证；制造流片、封装两项核心工序全部在国内厂家完成，工程样片 ≥ 1000 片。

（3）基于 100Mbps 级高带宽长距离单对线以太网物理层通信芯片的仪表终端样机，在不少于 2 个典型工业场景完成通信性能应用验证，累计运行时间 ≥ 3 个月，仪表终端样机规模 ≥ 10 台（套），至少 2 个仪表终端样机传输距离 $\geq 500\text{m}$ 。

（4）研制相关国家/行业标准 ≥ 1 项（通过标准立项）。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其

他渠道资金)与中央财政资金比例原则上不低于 2.5:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

项目牵头单位应为具备较强工业网络芯片研发优势的企业或科研院所，应与仪控设备制造企业和用户企业、科研院所、高等院校等联合申报，申报联合体具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家，下设课题数量不超过 5 个。

关键词：高带宽长距离单对线以太网、物理层通信芯片、数模混合信号处理、测试验证系统

项目 1.2.3.1：高精同步高可靠低时延工业无线短距通信芯片研制及验证

1.研究目标

针对多机装配高精协同、高速运动实时控制、高密度工业移动设备并发连接等应用场景，针对工业无线通信技术的高实时性、高确定性、高可靠性等苛刻需求，研究复杂工业场景中工业无线短距通信的超低时延、高精同步、高可靠、高并发、灵活组网及多网融合等关键技术，研制超低时延高可靠的工业无线短距通信 MAC-PHY 一体化芯片及模组，开发基于芯片/模组的接入节点和终端节点样机设备，搭建测试验证系统，验证百节点接入规模下工业无线短距通信系统的关键性能指标，并在电子制造、新能源汽车等行业中开展工程验证。

2.研究内容

（1）工业无线短距通信的超低时延及高精同步技术

研究无线短距通信超短帧结构、短周期同步导频、半静态调度、无线精准授时等技术，满足工业无线短距通信在实时控制、大规模数采等混合业务场景下，对工业无线短距终端节点控制指令空口传输毫秒级时延、收发节点间几十纳秒级无线高精同步要求。

（2）工业无线短距通信的高可靠优化技术

研究工业无线短距通信高可靠编解码、链路自适应、混合自动重传、快速干扰侦听和规避等可靠性保障技术；研究面向移动设备云化控制、无源泛在感知应用等场景的工业网络多频段协同、支持高可靠传输的多节点协作波束管理等关键技术，满足工业场景下高可靠、抗干扰的应用要求；研究无线网络智能诊断技术，实现网络状态自主监控和故障自恢复。

（3）工业无线短距通信的高并发优化技术

研究实时和非实时多业务混合承载条件下的无线资源优化、时频分集、精细化时频资源调度、分布式多点自同步机制、多维无线资源精准实时调控等高并发关键技术，满足工业无线短距终端百节点多业务混合并发接入场景下对工控业务的链路空口传输低时延和高可靠的要求。

（4）工业无线短距通信的组网及多网融合技术

研究工业无线短距通信的工业适配层等上层协议，实现

与 PROFINET、EtherNet/IP、OPC UA 等主流工业协议自适应，支持与典型工业网络、TSN 等异构网络混合组网及融合；研究工业无线短距多跳组网协议，实现终端直通、多跳合作中继等通信方式；构建分布式确定性无线组网架构，支持多业务、多制式、多工业协议混合并发接入及交互协同；研究工业无线短距通定感一体化、多源信息融合定位、多模态环境感知技术，复用通信信号实现亚米级定位和精准感知功能。

（5）工业无线短距通信的网络测试验证系统

研制工业无线短距通信的网络性能及功能测试标准，研发专用测试工具，搭建超低时延高可靠工业无线短距通信的网络性能及功能测试验证系统，开展通信速率、单跳往返传输时延、高精同步、可靠性、并发容量等关键性能指标测试验证，以及接入节点与终端节点互通性、多跳组网、跨域多网融合、工业协议适配等核心功能测试验证。

（6）工业无线短距通信的典型场景应用验证

研制超低时延高可靠的工业无线短距通信 MAC-PHY 一体化芯片及模组，开发工业无线短距接入节点和终端节点样机设备；在电子制造、新能源汽车等行业，部署超低时延高可靠工业无线短距通信系统，支持 IT/OT 融合，在双机同步搬运、移动协同装配、实时运动控制等典型多机协同作业场景中，进行工业无线短距通信技术的应用验证。

3.考核指标

技术指标:

到 2027 年 12 月，完成以下指标:

(1) 基于工程样片的工业无线短距通信样机，支持无线短帧、短周期同步导频、自适应调制编码、混合自动重传、快速干扰侦听和规避、分布式多点自同步机制等功能；支持高精时间同步和工业多业务混合承载；小包控制指令单跳空口传输时延 $\leq 1\text{ms}$ ，收发节点间无线同步精度 $\leq 100\text{ns}$ ；可靠性 $\geq 99.9999\%$ 的条件下，单个工业无线短距接入节点样机至少支持 10 个工业无线短距终端节点样机并发通信。

到 2029 年 10 月，完成以下指标:

(2) 工业无线短距通信 MAC-PHY 一体化芯片及模组，频段采用行业专用频段或 ISM 等免授权频段；支持 1024QAM；支持小包控制指令单跳空口传输时延 $\leq 1\text{ms}$ 、收发节点间无线同步精度 $\leq 100\text{ns}$ 、可靠性 $\geq 99.9999\%$ 的无线短距通信能力；支持 SM2、SM4 国密算法；接入节点芯片支持接入控制和流量调度等管理功能。

(3) 工业无线短距通信的网络性能及功能测试验证系统，由基于工业无线短距通信芯片/模组开发的设备样机以及专用测试工具组成；具备芯片协议和电气接口规范的一致性测试，以及通信时延、同步性、可靠性、并发能力、多跳特性、异构协议兼容性等关键指标测试能力；验证在小包控制指令单跳空口传输时延 $\leq 1\text{ms}$ 、收发节点间无线同步精度 $\leq 100\text{ns}$ 、可靠性 $\geq 99.9999\%$ 的条件下，系统组网规模支持在

10 个工业无线短距接入节点样机部署下至少支持 100 个工业无线短距终端节点样机并发通信；支持多跳合作中继传输能力验证。

工程化指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）工业无线短距通信 MAC-PHY 一体化芯片的工程样片 ≥ 300 片、模组 ≥ 100 套。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（2）超低时延高可靠工业无线短距通信芯片的技术就绪度（TRL） ≥ 8 级，完成芯片设计定型，经小批量生产和实际环境下充分使用，获得使用方认可。

（3）交付商用芯片 ≥ 1000 片。

（4）在电子制造、新能源汽车等行业，部署超低时延高可靠工业无线短距网络系统 ≥ 2 套，累计运行时间 ≥ 3 个月；使用工业无线短距通信芯片/模组的终端节点总数量 ≥ 20 台（套）；双机同步搬运、移动协同装配、实时运动控制等典型多机协同作业场景 ≥ 2 个；开展实时性、确定性、组网及多网融合等应用验证。

（5）研制低时延高可靠工业无线通信网络相关测试方法国家/行业标准 ≥ 2 项（通过标准立项）。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 2.5:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

项目牵头单位应为具备无线通信领域芯片研发技术及系统研发优势的企业或科研院所，应与国内相关领域用户单位、通信设备制造商、科研院所、高等院校等联合申报。申报联合体应具备较强的专业研发团队和完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：工业无线短距、高精同步高可靠低时延、跨域多网融合、工业协议适配

项目 1.2.4.1：面向工业本体构建的工厂级语义互操作与集成应用平台研发及验证

1.研究目标

针对多品种、小批量、快速换产需求下产线设备离线编程周期长、新工艺上线慢、跨工序协同难等瓶颈问题，研究覆盖对象属性、关联关系、功能行为、约束规则等多维信息的生产设备本体建模、工序本体封装与解析运行、多工序智能编排与实时优化等关键技术，研制面向工业本体构建的语义互操作与集成应用平台，集成设备本体统一建模工具、工

序本体模块化封装工具与多工序模块动态编排引擎，支持“业务变更—工序调整—设备调度”流程从传统手工编程适配转变为基于工业本体的动态智能集成模式，支撑产线快速柔性重构与跨工序高效协同。

2.研究内容

（1）生产设备本体统一语义建模技术

面向加工、装配、检测、物流等环节的生产设备，研究覆盖对象属性、关联关系、功能行为、约束规则等信息的设备本体统一语义建模方法，建立生产设备本体模型的标准描述规范，设计操作接口、结构定义与定制扩展分层表达框架；突破设备本体模型到可执行工控任务的自动映射技术，研制生产设备本体统一建模与解析运行工具，实现基于设备本体模型的工控任务实时驱动，支撑异构设备的高效集成与跨系统复用。

（2）生产工序本体模块化封装方法

研究基于设备本体的复杂工序参数与制造资源优化映射技术，研究场景适配的多层次工序本体构建方法，突破涵盖生产设备、行为状态、数据接口及人机交互的工序本体模块化封装技术；研制生产工序本体模块化封装工具，实现从工序本体到特定工序模块的实例化编译，支持工序模块与设备间的自适应重配、工序模块按需组合与快速重构。

（3）多工序动态编排与调度优化技术

突破基于工业本体的多工序模块实时编排方法，实现复

杂业务场景下生产任务到工序的逻辑解构与快速组织；研究变工况条件下工序流程的动态在线调整技术，研制多工序模块动态编排引擎，支持多任务并发编排、工序流程自动生成与动态调整优化；研制基于工业本体的 IT/OT 跨域互操作协议，支持工业现场实时控制与纵深安全防护，实现“业务—工序—设备”端到端数据实时流通与安全交互。

（4）工厂级语义互操作与集成应用平台研发及验证

研制基于工业本体的工厂级语义互操作与集成应用平台，集成设备本体建模、工序本体模块化封装与多工序模块动态编排等工具，实现从生产任务下达到设备协同运行的端到端闭环；研制工业本体驱动的工厂级语义互操作测试验证系统，支持工业本体语义符合度、IT/OT 跨域接口一致性、动态编排仿真与容错测试等测试功能，并在钢铁、新能源汽车、轨道交通等典型行业，围绕实时生产监控与优化、产线快速柔性重构与跨工序高效协同等场景，开展应用验证。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）生产设备本体统一建模工具，支持涵盖物理属性、关联关系、功能行为、约束规则等多维信息建模；适配主流国产操作系统 ≥ 2 种；集成典型生产设备本体模型 ≥ 100 个，形成设备本体库。

（2）生产工序本体模块化封装工具，支持生产设备、

数据接口和人机交互接口等模块化封装；支持模型聚合、即插即用与分布式存储；集成典型生产工序本体模型 ≥ 100 个，形成工序本体库。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（3）多工序模块动态编排引擎，具备生产任务解析、工序流程图形化设计、自动生成与运行态动态呈现等功能，典型生产调度场景下从任务下发到首个工序模块服务调用完成的编排响应时间 $\leq 5s$ 。

（4）IT/OT 跨域互操作协议，支持 20 种以上异构网络互操作，支持跨域数据交互时延不超过 10ms。

（5）工厂级语义互操作与集成应用平台，集成设备本体建模工具、工序本体封装工具、多工序模块动态编排引擎；工业本体管理规模能力 ≥ 10000 个，支持工业本体的共享、扩展、查找等功能；可同时接入管理不少于 50 个在线工序模块，全要素状态刷新周期 $\leq 2s$ 。

（6）工厂级语义互操作测试验证系统，覆盖生产设备及生产工序等工业本体语义模型一致性与互操作性、通信确定性、信息安全等可量化测试指标 ≥ 20 种，测试用例 ≥ 200 个，语义模型一致性自动化测试率 $\geq 90\%$ 。

工程化指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）生产工序本体模块化封装工具及多工序模块动态编排引擎，支持多工序模块的按需组合和柔性编排，模块复

用率¹≥70%。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（2）工厂级语义互操作与集成应用平台技术就绪度（TRL）≥8 级，产品设计定型，经小批量生产和实际环境下充分应用与验证，累计运行时间≥3 个月，获得用户认可。

（3）依托工厂级语义互操作与集成应用平台，调用生产工序模块≥50 种，集成生产设备、系统等数量≥1000 台（套）。

（4）工厂级语义互操作与集成应用平台在钢铁、新能源汽车、轨道交通等行业开展应用验证。其中，在钢铁行业覆盖炼铸轧等流程，包含转炉、精炼、连铸、加热、轧制、热处理等工艺环节≥6 种；在新能源汽车行业覆盖冲涂焊总等流程，包含冲压、涂胶、焊接、铆接、拧紧、检测、合装等工艺环节≥10 种；生产过程信息集成与模型适配的重组织时间²降低≥50%。

（5）研制工业本体构建、语义模型测试等国家/行业标准≥2 项（通过标准立项）。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

1 模块复用率=产线重构或产品换型等场景下直接复用已有工序本体库中的模块/所需全部工序模块×100%；模块复用是指所复用的工序模块仅需修改参数配置，无需重写行为逻辑，即可完成部署应用。

2 重组织时间，是指从新工艺任务下达开始，至在线工序模块全部完成参数适配与通信连接（编排引擎可下发首条指令）为止，之间的时间间隔；重组织时间降低比例=(T1-T2)/T1×100%，其中，T1 和 T2 分别为在新旧工艺切换下，采用传统切换方式所需的重组时间与采用本项目工具链后所需的重组时间。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 2.5:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具备 IT/OT 跨域集成、工业控制系统研发优势的企业、高水平研究型大学或科研院所，应与行业用户等联合申报，申报联合体应具备较强的专业研发团队和完善的试验、研究和开发及应用条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：工业本体、语义互操作、模块化封装、动态编排

（三）制造智能与行业知识模型

项目 1.3.1.1：面向复杂装备设计制造一体化的校验评估多智能体研发及验证

1.研究目标

针对航空航天、船舶等复杂装备产品研制周期长、流程复杂且变更频发，产品设计与工艺方案跨阶段流转过程中人工校验负荷重、效率低，多目标工艺方案评估与优化困难等问题，突破基于装备性能多元信息融合的特征编程方法，构建支持复杂装备设计制造一体化的跨流程协同研制智能体元模型与数据底座，研发复杂合规约束下的设计校验智能体、典型工艺方案校验评估智能体及制造过程质量评估智能

体，并在典型复杂装备研制过程中进行应用验证，最终形成覆盖“设计—工艺—制造”全链条的智能校验评估体系，实现跨阶段流转方案的自动审查与精准评估，全面提升复杂装备研制的效率、质量与数字化管控水平。

2.研究内容

（1）跨流程协同研制智能体元模型与数据底座

研究复杂装备跨流程协同研制场景下的智能体元模型框架，构建涵盖任务、工艺约束等多维知识要素及其语义关联的智能体本体模型；研究多源异构数据的集成治理、语义对齐与知识抽取方法，形成可支撑智能体上下文感知与关联推理的数据底座；突破基于装备性能多元信息融合的特征编程方法，建立覆盖几何、材料、工艺与服役性能的多层级特征表示模型；研究智能体与数据层、知识层及外部环境间的交互接口、功能及调用机制，形成支持复杂装备跨流程协同研制的智能体元模型规范。

（2）复杂装备设计合规校验智能体

研究跨流程协同研制过程中结构与管道设计模型规范性智能校验技术，构建满足空间干涉、边界条件、开孔规范、连接关系及实体数据等约束的智能校验规则集；研究面向制造的零件设计数据变更分析技术，研发设计模型规范性校验智能体，与国产三维 CAD 软件集成，实现对结构、管道及零件设计模型的在线自动校验与预警。

（3）复杂装备工艺方案校验评估智能体

研究覆盖切割、装配、焊接等典型工艺方案的多目标可行性评估方法，构建覆盖切割效率与划线、装配反转次数与成组比例、焊接路径与姿态等多目标评估规则集；研究典型工艺方案的多目标智能仿真评估技术，研发典型工艺方案校验评估智能体，并与国产 CAPP 软件集成，实现工艺方案的一体化智能评估。

（4）复杂装备制造过程质量评估智能体

研究复杂装备在曲板成形、结构装焊及总装阶段的制造质量智能感知与评估方法，突破制造过程多尺度高精度图像采集与分析技术，构建面向典型制造过程质量判据的规则知识库；建立质检结果、工艺参数与设计容差之间的逆向溯源图谱网络，研发适配制造关键过程的质量评估智能体，支持关键质量要素的在线监控、实时分析与优化。

（5）支持复杂装备设计制造一体化的多智能体应用验证

研究基于多智能体的复杂产品协同研制平台集成框架，集成设计合规校验智能体、典型工艺方案评估智能体、制造过程质量评估智能体，构建支持复杂装备设计制造一体化的多智能体集成应用系统，支持国产智能体协议应用并实现与国产三维 CAD、CAPP 等工业软件的集成，并选取航空、航天、船舶等行业具有多阶段协同研制特征的典型装备，开展多智能体的集成应用验证。

3.考核指标

技术指标:

到 2027 年 12 月，完成以下指标:

(1) 典型装备跨流程协同研制智能体的元模型与数据底座，支持产品设计校验、工艺方案评估、制造过程质量评估等智能体模型训练；元模型描述任务、数据、模型等要素及其关联关系，包含的知识实体类型 ≥ 40 个。

到 2029 年 10 月，完成以下指标:

(2) 复杂装备设计合规校验智能体，支持集成调用国产三维 CAD 接口；支持结构与管道模型合规性校验、零件设计数据变更智能分析，校验与分析准确率 $\geq 95\%$ ，合规性校验工作效率提升 $\geq 50\%$ ；支持理论面、开孔、边界、坡口至少 4 类约束下的结构模型校验，支持连接关系、实体数据、维修空间至少 3 类约束下的管道模型校验，支持至少 3 万个结构零件的编码、几何、标注、划线等 4 类信息跨阶段比对与变更分析。

(3) 复杂装备典型工艺方案校验评估智能体，支持集成调用国产 CAPP 接口；覆盖零件切割、装配、焊接等典型工艺 ≥ 3 个，工艺方案仿真评估准确率 $\geq 95\%$ ，工艺方案评估工作效率提升 $\geq 50\%$ ，支持覆盖切割效率、坡口、划线的切割工艺方案评估，单板切割仿真平均时间 $\leq 2\text{min}$ ；支持零件数量 ≥ 500 规模下，不少于 4 级工步，覆盖反转次数、成组数量的结构装配工艺方案仿真评估；支持覆盖焊接路径、姿态、可达性的焊接工艺方案仿真评估。

(4) 复杂装备制造过程质量评估智能体，覆盖曲板成形精度、结构焊接质量缺陷、总装精度等，质量评估效率提升 $\geq 30\%$ ，支持曲板成形精度智能评估的测量精度优于 $\pm 2\text{mm}$ ；典型总装精度测量及模型生成总时间 $\leq 45\text{min}$ ，测量精度优于 $\pm 2\text{mm}$ 。

工程化指标:

到 2029 年 10 月，完成以下指标:

(1) 复杂装备跨流程协同研制的校验评估系统 1 套，包括设计合规校验智能体、典型工艺方案校验评估智能体、制造过程质量评估智能体；形成覆盖产品智能辅助设计、工艺生成优化、制造过程质量评估等制造智能模型库 ≥ 3 套。

(2) 复杂装备跨流程协同研制的校验评估系统的技术就绪度 (TRL) ≥ 8 级，经小批量生产和实际环境下充分应用与验证，各项指标满足复杂装备工程使用要求。

(3) 在航空、航天、船舶等行业选取不少于 2 型复杂装备产品开展应用验证，累计运行时间 ≥ 3 个月，覆盖主体结构建模、动力系统管道布置、零件切割、成组装配、机器人焊接、曲板成形、舱段总装等不少于 7 个场景开展智能体验证，设计工时降低 $\geq 30\%$ ，产品质量检验工时降低 $\geq 40\%$ ，中间产品一次合格率 $\geq 98\%$ ，装备研制全流程审核校验效率提高 $\geq 50\%$ 。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 2.5:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应具备航空航天、船舶等行业典型复杂装备研制工程经验且拥有工业软件开发及智能体构建能力的科研院所或企业，应与国内相关优势企业、科研院所、高等院校等联合申报，申报联合体具备较强的专业研发团队和完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：产品设计校验、工艺方案评估、制造过程质量评估、智能体、设计制造一体化

项目 1.3.1.2：新能源汽车供应链风险预警与管控服务平台研发及验证

1.研究目标

针对新能源汽车整车与零部件企业间供应链条长、扰动因素多、供应网络关系复杂，供应链数据可信共享困难、供应链韧性不足等产业共性问题，突破供应链可信安全的数据空间、风险预警与韧性增强等关键技术，构建新能源汽车供应链关键节点质量风险协同感知模型，研究融合供应、质量

与交付风险的预警算法、韧性评估与制造资源智能决策方法，研制新能源汽车供应链风险预警与管控服务平台，并在整车及零部件企业供应链开展应用验证，全面提升新能源汽车供应链风险管控能力。

2.研究内容

（1）新能源汽车供应链可信安全的数据空间技术

突破全链条业务数据的统一标识、语义映射与协同治理技术，开发面向整车企业与多级零部件供应商间生产过程等异构系统统一接口；突破新能源汽车行业数据动态分类分级、权属自适应确权、边界可控授权、全链路存证追溯与供应链数据资产量化评价管控等关键技术，建立可信安全的跨企业数据共享与交互机制、企业数据内外部连接机制；构建面向多主体供应链可信安全的工业多模态数据空间，支撑整车企业与多级供应商数据可信共享、生产质量协同管控，并向重点行业整机与零部件企业推广。

（2）新能源汽车供应链多源风险协同感知与评估模型

研究新能源汽车关键零部件正向质量控制设计规则与供应链韧性根因分析方法，建立包含物料供应异常、产品工艺质量波动及交付延期等多源风险要素判定的供应链质量知识库；开发新能源汽车供应链知识模型辅助建模工具套件，构建面向供应链关键节点的供应、质量、交付等多源风险协同感知模型；研究质量异常与交付异常风险传导的联动监测方法，识别供应链风险传导路径；突破多源风险协同感

知与传导关系建模技术，建立供应链风险评估模型，解决风险感知滞后、传导影响程度难以精准评估的问题。

（3）新能源汽车供应链风险预警与韧性增强技术

研究融合物料供应异常、产品工艺质量波动以及交付延期的供应链风险预警算法与韧性评估技术，构建新能源汽车供应链韧性多维度评价指标体系；研制供应链韧性评估基础模型、风险预警与生产运营管理决策的融合应用框架，开发供应链多主体制造资源智能决策应用工具，构建智能协同决策算法库，支持生产计划调整、企业间协同排产、库存互补与资源重配等存在异常扰动场景的制造资源多目标智能协同决策。

（4）新能源汽车供应链风险管控服务平台研发

研究供应链全流程数据端到端自动采集、流转、同步与共享技术，集成供应链数据空间基础组件、供应链多源风险协同感知模型、多主体制造资源智能决策工具，研制模块化、低代码、可配置的供应链风险管控服务平台；突破多主体数据安全管控技术，研制数据脱敏、权限管控、安全保障功能模块，实现数据归集、风险感知、智能决策、协同管控的业务闭环。

（5）供应链数据空间与风险管控服务平台应用验证

研究供应链多源异构数据交互与共享机制，构建标准化、可复用的新能源汽车供应链数据资源池，实现供应链数据安全共享与高效赋能；围绕供应链多主体间供应风险预

警、质量监测、库存周转与交付保障等协同应用场景，在整车与零部件企业供应链中开展供应链数据空间与风险管控服务平台应用验证，实现阻断质量风险传导、降低协同成本、提升供应链韧性的目标。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）可信安全的工业多模态数据空间平台，支持不少于 4 类模态数据的统一接入与融合治理，数据质量一致性²≥95%，数据缺失率³≤3%；同域 PB 级数据检索时延≤1s；可信数据接口调用成功率⁴≥99.9%；数据流通校验成功率⁶≥99.9%，存证数据校验成功率⁷≥99.9%。

（2）新能源汽车供应链质量知识库，包含物料供应中断、企业停产等工艺质量波动、典型工艺设备健康评价及交付延期判定等规则，知识条目数≥6500 条；研制新能源汽车供应链质量专用知识模型辅助建模工具套件，兼容主流开发框架≥3 种。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（3）新能源汽车供应链多源风险协同感知模型库，提供典型工艺实时感知模型≥4 种、典型工艺设备运行健康状态

2 数据质量一致性=有效数据量/总数据量×100%。

3 缺失率=缺失数据量/总数据量×100%。

4 可信数据接口调用成功率=接口正常响应并返回正确结果的次数/接口总调用次数×100%。

6 数据流通校验成功率=数据流通校验成功次数/数据流通校验总次数×100%。

7 存证数据校验成功率=存证数据校验成功次数/存证数据校验总次数×100%。

感知模型 ≥ 4 种、质量感知模型 ≥ 4 种、交付风险感知模型 ≥ 4 种；实现模型版本管控、接口标准化，支持业务场景快速调用与复用。

（4）新能源汽车供应链智能协同决策算法库，包含供应链风险预警、韧性评估等算法 ≥ 10 个，韧性评价体系指标 ≥ 10 项，可量化评价指标占比 $\geq 80\%$ ，决策方案生成响应时间 $\leq 30s$ 。

（5）新能源汽车供应链风险预警与管控服务平台，包含跨域数据使用控制、供应链数据流通存证与追溯等服务组件 ≥ 10 种，自动识别质量风险、库存积压、产能不足、隐性关联风险等风险预警类型 ≥ 10 类，识别准确率¹ $\geq 95\%$ ；管控指令响应时间 $\leq 50ms$ ；场景化防护策略 ≥ 200 条。

工程化指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）可信数据空间归集的数据资源的数据类型至少包含重点零部件拓扑信息、来料质量、生产质量、设备运行、库存周转、供应链系统性与隐性风险等 6 类；日均上报实时数据条数 ≥ 200 万条。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（2）可信数据空间接入新能源整车企业 ≥ 4 家、核心供应商 ≥ 100 家，覆盖动力电池、电驱系统、车身底盘等关键零部件的供应商类型 ≥ 5 个。

¹ 识别准确率=准确识别预警风险的次数/预警风险的总次数 $\times 100\%$ 。

(3) 新能源汽车供应链风险预警与管控服务平台要不少于 300 家新能源汽车行业相关方提供关键供应链数据透明可视、质量异常协同处置或交付风险预警等服务。

(4) 新能源汽车供应链风险预警与管控服务平台技术就绪度 (TRL) ≥ 8 级, 整体功能完成固化定型与闭环集成, 具备标准化部署接口、稳定运行能力与可复用迭代能力, 经小批量生产和实际环境下充分使用, 累计运行时间 ≥ 3 个月, 获得用户认可。

(5) 新能源汽车供应链风险预警与管控服务平台在不少于 3 家新能源汽车整车及其多级零部件供应商之间开展工程化验证, 实现质量异常协同处置周期压缩率¹ $\geq 50\%$; 质量风险事前阻断率² $\geq 80\%$; 整体供应链质量损失成本下降⁴ $\geq 15\%$; 参与验证的新能源车企实现制造过程 PPM⁵ ≤ 100 ; 量产满 6 个月后整车下线单车缺陷数 (DPV) ≤ 1 个/辆、一次下线合格率 (FTR) ⁶ $\geq 95\%$ 。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

1 质量异常协同处置周期压缩率=(平台投用前质量异常协同处置工单平均总耗时-平台投用后质量异常协同处置工单平均总耗时)/平台投用前质量异常协同处置工单平均总耗时 $\times 100\%$; 质量异常协同处置工单总耗时: 自质量异常协同工单发起登记时间起, 至各协同方处置确认完毕、问题处置完成的时间为止, 所经历的时长。

2 质量风险事前阻断率=事前成功阻断消除质量风险数量/当期累计识别全部质量风险总数量 $\times 100\%$ 。

4 质量损失成本降幅 =(基期质量损失成本 - 当期质量损失成本)/基期质量损失成本 $\times 100\%$ 。

5 制造过程 PPM (百万个零件问题数): 供应商零件交付主机厂后, 从来料抽检到整车下线前检查各环节被发现, 且归因于供应商来料缺陷的每百万个零件问题数。

6 一次下线合格率(FTR) =无需任何返修且直接合格下线的车辆数/总下线车辆数 $\times 100\%$ 。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 2.5:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事后补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为独立于新能源汽车整车及零部件制造企业，且具有百万量级新能源汽车实时数据治理与平台运营能力的第三方机构，应与国内新能源汽车整车制造龙头企业（不少于 3 家）、科研院所、高等院校等联合申报，申报联合体应具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：工业多模态数据空间、汽车供应链、供应链多源风险协同感知、供应链风险管控服务平台

（四）智能制造新技术标准

项目 1.4.1.3：面向工业智能模型的数据质量动态评测技术及标准研制

1.研究目标

工业智能模型在不同业务场景、部署环境与作业要求下对训练数据质量具有差异化需求，当前缺乏有效手段感知数据随工况、环境等动态变化产生的分布漂移与非平稳噪声干

扰，缺少跨场景的数据质量适配机制，难以有效指导数据集构建。本项目面向制造过程典型场景，研究工业数据元模型建模技术、工业数据集构建及模型适配技术，突破数据质量动态评测技术，开发综合评测平台，形成面向典型场景的“数据一模型”协同演化及评测技术相关标准，开展相关标准及技术工具的应用验证，支撑工业智能模型的高效训练、稳定部署与持续运维。

2.研究内容

（1）面向典型场景的工业数据多层级元模型建模技术

面向产品研发设计、工艺优化、设备运维等典型场景需求，构建覆盖工业数据特性的元模型框架；研究支持动态演化的多层级元模型建模方法，设计面向制造过程的元模型扩展机制，支持跨系统、跨产品、跨领域的元模型互操作；研究基于元模型的元数据高效适配与映射方法，研制面向典型场景的工业数据元模型智能管理工具，构建跨领域典型场景的工业数据元模型，支撑工业数据高效集成与知识复用。

（2）面向典型场景的数据一模型协同的工业数据集构建技术

研究面向典型场景的工业数据质量表征与监测技术，揭示数据质量的时变规律及工况响应特性；研究跨场景的“数据一模型”质量适配机制，建立数据质量需求与模型性能之间的映射关系；研究典型场景任务约束下的数据分类分级、多模态工业数据智能对齐、时空关联与融合标注等技术，形

成“需求驱动—实时监测—适配构建”一体化的工业数据集构建工具，支撑复杂制造环境下工业智能模型的数据需求。

（3）面向典型场景智能应用的工业数据质量动态评测技术

构建融合工业数据共性特征与典型场景差异化需求的工业数据动态质量综合指标体系，研究数据集与工业智能模型的适配度测试方法，构建面向不同业务场景、部署环境与作业要求的指标动态配置策略；研制工业数据动态质量评测工具，开发综合评测平台，研发基准数据库和测试用例开发工具，构建工业数据质量评测知识库，实现面向模型自适应的工业数据质量感知、动态评测、问题数据追溯。

（4）典型工业场景数据—模型协同应用标准及验证

研制面向典型场景的工业数据元模型、工业数据集构建、工业数据质量动态评测等“数据—模型”协同演化及评测技术相关标准。面向重点行业，围绕研发设计、工艺优化、设备运维、生产调度等典型场景，开展重点标准、指标体系、技术工具等应用验证。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）工业数据元模型智能管理工具 1 套，支持工业数据元模型建模方法 ≥ 4 种，工业数据元模型互操作方法 ≥ 3 种，元模型具备自主扩展与一致性消歧，覆盖研发设计、生产调

度、运行维护等典型场景应用 ≥ 10 个。

(2) 工业数据集构建工具 1 套，支持“数据一模型”质量适配、数据分类分级、智能对齐、时空关联、语义泛化等功能。

(3) 工业数据质量评测指标体系，融合工业数据共性特征及典型场景差异化需求，涵盖完整性、一致性、准确性、时效性、工艺适应性、模型适配性、分类分级准确性等指标 ≥ 15 项。

(4) 工业数据质量动态评测工具 1 套，支持 5 个以上维度的工业数据质量综合评测，支持不少于 100 种异构数据规范化评测。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

(5) 工业数据质量综合评测平台，支持面向典型场景的指标自适应配置方法 ≥ 5 种；集成覆盖质量评估规则、典型缺陷模式等方面的工业数据质量评测知识库 1 套，知识条目 ≥ 1000 条；GB 级规模工业数据实时处理时间达到秒级；研发基准数据集不少于 5 个；具备数据质量在线感知、模型适用度实时评估、问题数据追溯等功能；工业数据质量评测的准确率不低于 90%。

工程化指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

(1) 基于工业数据元模型智能管理工具构建工业数据元模型 ≥ 10 个。

(2) 工业数据集构建工具在不少于 5 个行业开展应用验证, 基于元模型的数据集构建准确率 $\geq 90\%$ 。

到 2029 年 10 月, 完成以下指标:

(3) 工业数据质量综合评测平台技术就绪度 (TRL) ≥ 8 级, 面向真实生产场景实现工业数据质量感知、模型适用度实时评估和问题数据追溯。

(4) 在航空、航天、船舶、新能源汽车、冶金、化工等不少于 5 个行业, 不少于 10 个工厂部署工业数据集构建工具, 建成不少于 20 个高质量数据集, 累计处理工业数据规模不少于 300TB。

(5) 工业数据质量综合评测平台, 覆盖典型场景 ≥ 10 个, 面向不少于 20 个工业智能模型开展评测验证, 评测准确率达到 95% 以上。

(6) 研制基于元模型的工业数据规范性、工业数据质量要求、交换要求、质量分级、评测方法等国家/行业标准 ≥ 10 项 (通过标准立项), 国际标准提案 ≥ 2 项。

4. 实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5. 项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目, 采用公开竞争方式。

所属创新分类: 重大共性关键技术。

其他来源资金 (包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金) 与中央财政资金比例原则上不低于 2:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具备工业数据集构建和治理相关技术研发、标准研制、评测服务优势的科研院所、高水平研究型大学或企业，鼓励产学研用单位联合申报，申报联合体应具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：工业数据元模型、数据集构建、数据质量动态评测

项目 1.4.2.5：面向生产管控的智能体集成应用框架与协同部署技术及标准研制

1.研究目标

面向典型生产管控场景的工业智能体是实现制造执行过程敏捷响应、资源高效配置与异常自主处置的核心，是支撑新一代智能制造系统构建自主化、自适应运行能力的关键。针对生产管控智能体与现有 MOM/MES、APS 等生产管控系统之间缺乏标准化的功能适配接口，云边端协同部署效率低等问题，突破面向生产管控场景的多源业务语义统一表征与智能体行为建模技术，构建生产管控智能体集成应用框架；研制智能体与生产管控系统间的标准化接口规范、集成测试准则，构建多智能体协同交互模型；研究面向生产管控的智能体云边端协同部署方法，制定生产管控智能体集成应

用框架和智能管控系统测评标准，研发面向生产管控的企业综合运行决策开发平台，为生产管控智能体的规模化落地提供技术标准与平台支撑。

2.研究内容

（1）面向生产管控的智能体集成应用框架

面向制造运行、设备运维、工厂仿真、计划调度等场景，突破多源业务语义统一表征与智能体行为建模技术，构建涵盖感知、认知、决策、执行能力的智能体行为模型；研究业务视角下智能管控系统参考架构，构建面向生产管控的跨行业共性与场景特性融合的智能体集成应用框架，定义生产管控智能体的功能角色、交互接口、行为模型与多智能体协同机制；研究智能体模块化封装与服务化调用方法，支持国产智能体协议应用，实现面向不同生产场景的智能体按需调用与动态编排。

（2）生产管控多智能体协同交互模型

研究制造运行、设备运维、工厂仿真、计划调度等场景业务模型及信息交互模型，突破面向生产管控的多智能体任务分解、资源协商、冲突消解与联合决策方法，构建多智能体协同交互的标准化模型体系；研制生产管控多智能体交互流程、语义共识与安全可信机制；研究面向典型场景的生产管控智能体稳健性指标体系与测试评估准则，支持异常扰动、通信延迟等工况下协同质量的可复测评估。

（3）工业智能体云边端协同部署与运行技术

研究云边端三层协同部署架构与资源弹性调度方法，制定智能体功能在云边端之间的动态切分与迁移策略；研究工艺优化、设备运维及质量管控等边端部署的多智能体协同方法；研究生产计划动态调度、跨车间资源协同调配等工厂级全局优化方法，形成面向生产管控的云侧全局优化与边端局部自主协同联动的运行机制。

（4）智能管控系统测评指标体系及功能测评

研制业务视角下智能管控系统参考架构；研究面向制造运行、设备运维、工厂仿真、计划调度等场景的智能管控系统核心功能与性能测评方法，针对制造运行管理支持多组织制造资源配置、运营分析与智能决策等方面测评，针对设备运维支持状态评估、故障诊断、寿命预测、故障预警等方面测评，针对工厂仿真支持仿真求解、实时再现、跨域映射等方面测评，针对计划调度支持多时间尺度、资源与能源耦合的非线性排产等方面测评。

（5）面向生产管控的智能体标准及运行决策开发平台

研制面向生产管控的智能体集成应用框架、智能管控系统相关要求及测试方法标准；研制面向生产管控的企业综合运行决策开发平台，支持多智能体云边分布式决策、企业整体状态智能感知等功能；研发生产管控智能体集成测评平台，为智能体的工程化应用提供测试环境；在船舶、轨道交通、新能源汽车、工程机械等行业开展应用验证。

3.考核指标

技术指标:

到 2027 年 12 月，完成以下指标:

(1) 面向计划调度、制造运行等典型场景，构建生产管控智能体稳健性指标体系 ≥ 2 套，每套指标体系覆盖关键指标 ≥ 6 个；智能管控系统测评模型 ≥ 2 套，支持智能管控系统核心功能和性能测试评估。

(2) 智能管控系统新型参考架构，涵盖制造运行、设备运维、工厂仿真、计划调度等典型场景。

(3) 生产管控智能体集成测评平台 1 套，支持智能体与生产管控系统的集成测评，覆盖计划调度、制造运行、生产仿真、设备运维等场景，支持准确性、及时性、可靠性等不少于 8 项指标测评；关键指标的量化测评占比 $\geq 80\%$ ；构建测试参考数据集 ≥ 4 个，测试用例 ≥ 5000 条，测试数据自动化采集与分析占比 $\geq 60\%$ 。

到 2029 年 10 月，完成以下指标:

(4) 面向典型场景的生产管控智能体稳健性指标体系累计 ≥ 4 套，每套指标体系覆盖关键指标 ≥ 6 个；智能管控系统测评模型累计 ≥ 4 套，支持智能管控系统核心功能和性能测试评估。

(5) 生产管控智能体集成测评平台，支持智能体与智能管控系统的可集成性测评，测试参考数据集累计 ≥ 8 个（新增不少于 4 个），测试用例累计 ≥ 10000 条，测试数据自动化采集与分析占比 $\geq 80\%$ 。

(6) 面向生产管控的企业综合运行决策开发平台，支持生产组织、市场策略、供应链预警等不少于 5 类运营决策模型的建模、训练等。

工程化指标:

到 2027 年 12 月，完成以下指标:

(1) 研制生产管控智能体集成应用框架等相关国家/行业标准 ≥ 1 项（通过标准立项）。

到 2029 年 10 月，完成以下指标:

(2) 生产管控智能体集成测评平台技术就绪度（TRL） ≥ 8 级，以部署运行的生产管控智能体为对象，在真实生产环境下对核心能力测评指标进行测试及验证。

(3) 面向生产管控的企业综合运行决策开发平台，构建不少于 4 个智能体采用开源方式发布，平台使用 ≥ 4000 人次，针对不少于 20 家企业开展应用示范。

(4) 围绕船舶、轨道交通、新能源汽车、工程机械等行业遴选典型场景，开展生产管控智能体集成测评平台的应用验证，累计测评不少于 20 个生产管控智能体，测评准确率 $\geq 90\%$ 。

(5) 累计研制生产管控智能体集成应用框架、智能管控系统相关要求及测评方法等相关国家/行业标准 ≥ 5 项（通过标准立项），国际标准提案 ≥ 1 项。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 2:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具备工业智能或智能制造相关标准化工作基础及专业测评技术研究优势的科研院所、企业或高水平研究型大学，鼓励产学研用单位联合申报，申报联合体应具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：生产管控、工业智能体、集成应用框架、协同部署

项目 1.4.3.2：新型智能工厂体系架构与关键要素测评技术及标准研制

1.研究目标

随着人工智能技术与制造系统深度融合，传统 ISA-95 架构已难以适应智能工厂数智化升级需求。与此同时，我国虽已形成大量智能工厂建设先进案例，但尚未将分散的实践经验系统化总结提炼，亟需制定统一的新型智能工厂体系架构标准，为我国智能工厂升级和智能制造系统能力跨越提升

提供指引。本项目拟构建人工智能赋能下的新型智能工厂体系架构，研究智能制造装备、工厂数智底座和工业智能应用各层级关键要素能力图谱，研制面向新型智能工厂体系架构与关键要素相关标准，研发配套测评工具及构建典型物理测试场景，在航空、船舶、新能源汽车、冶金、化工等重点行业开展应用验证与测评服务，为智能工厂关键能力识别、建设方向研判和发展路径优化提供技术支撑。

2.研究内容

（1）新型智能工厂体系架构及关键要素协同机制

研究面向 IT/OT 融合，涵盖智能制造装备、工厂数智底座、工业智能应用等层级的新型智能工厂体系架构，构建各层级关键要素能力图谱；研究装备、工艺、数据、模型、业务等智能工厂全要素跨层级协同运行与动态适配技术，支撑制造全流程“资源—信息—决策”一体化协同优化。

（2）制造装备数智化能力指标体系与测评方法

围绕“感知—交互—决策—执行”，研究面向典型作业环境的制造装备数智化能力表征方法，构建数智化能力指标体系；建立测评基准数据集和典型工况场景库，研制关键指标评测方法和工具；研究制造装备数智化能力分级分类方法，支撑制造装备智能化水平精准度量和持续升级。

（3）智能工厂数智底座功能要素与集成方法

研究新型智能工厂数智底座技术架构及核心功能要素，突破泛在接入与数字映射方法、智能计算与演化模型、服务

化集成与协同机制、内生安全与可信保障技术等；研究网络、算力、安全等基础设施一体化集成技术，形成支撑资源融合与动态联动的统一管控的底座能力。

（4）工业智能应用性能指标体系与测评方法

研究工业智能应用在任务理解、人机协同、推理决策和闭环执行等过程中性能表征方法，构建人工智能原生的工业智能应用性能指标体系；研究准确性、实时性、鲁棒性、可信性等方面关键性能指标测评模型与基准数据集，研制可配置和场景自适应的专用测评工具。

（5）新型智能工厂体系架构标准研制及应用验证

研制新型智能工厂体系架构与关键要素相关标准；构建工业智能应用典型物理场景的高复用功能模块池，研制工业智能应用典型测试场景快速构建系统；集成制造装备数智化能力测评工具、工业智能应用性能测评工具，研制智能工厂关键要素综合测评平台，支持智能工厂分级能力和智能制造系统就绪度测评；在航空、船舶、新能源汽车、冶金、化工等典型制造业领域开展标准和工具的应用验证。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）新型智能工厂体系架构 1 套，包含智能制造装备、工厂数智底座和工业智能应用各层级关键要素能力图谱，以及智能工厂数智底座技术架构；涵盖装备、工艺、数据、模

型、业务等智能工厂全要素，以及产品全生命周期和生产制造全过程。

（2）制造装备数智化能力指标体系 ≥ 1 套，覆盖环境感知、自主决策与执行等能力指标 ≥ 20 个，制造装备数智化能力分级分类模型 ≥ 3 个，支持智能检测装备、高端控制器、自动化仪表等设备测评。

（3）工业智能应用性能指标体系 ≥ 1 套，覆盖任务理解、人机协同、推理决策和闭环执行等过程，包括确定性、实时性、鲁棒性、可信性、泛化性等方面指标 ≥ 10 个；工业智能应用性能测评模型 ≥ 3 套，涵盖设计、制造和服务等环节。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（4）制造装备数智化能力测评工具，具备场景模拟、案例生成等功能，自动化测试指标覆盖率 $\geq 60\%$ ，测试基准数据集 ≥ 20 个。

（5）工业智能应用性能测评工具，具备场景模拟、案例生成等功能，自动化测试指标覆盖率 $\geq 60\%$ ，测评基准数据集 ≥ 4 个。

（6）工业智能应用典型测试场景快速构建系统，包含高复用功能模块 ≥ 100 种，支持云边端多设备协同控制、分布式智能控制、产线按需智能重构等 10 种以上工业智能应用测试场景构建；支持容器化应用可靠性、计算任务实时性、计算能力等测试验证。

（7）智能工厂关键要素综合测评平台，支持智能工厂

分级能力和智能制造系统就绪度测评，集成测评模型 ≥ 6 个，自动化测试指标覆盖率 $\geq 60\%$ ，测评指标要素的自动识别、关联分析准确率 $\geq 95\%$ 。

工程化指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）研制新型智能工厂体系架构与关键要素相关国家/行业标准 ≥ 2 项（通过标准立项），国际标准提案 ≥ 1 项。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（2）制造装备数智化能力测评工具、工业智能应用性能测评工具和智能工厂关键要素综合测评平台技术就绪度（TRL） ≥ 8 级，在真实使用环境下实现对制造装备数智化能力、工业智能应用性能、智能工厂关键要素等关键指标测试评估。

（3）在航空、船舶、新能源汽车、冶金、化工等不少于 5 个重点行业，构建制造装备数智化测评、工业智能应用性能测评等典型场景 ≥ 10 个；依托测评工具，对不少于 5 类制造装备开展数智化能力测评，对不少于 5 个工业智能应用开展关键性能指标测评。

（4）依托研制的标准和智能工厂关键要素综合测评平台，在航空、船舶、新能源汽车、冶金、化工等不少于 5 个重点行业，对不少于 10 家智能工厂开展分级能力测评服务，累计接入企业 ≥ 100 家。

（5）累计研制新型智能工厂体系架构与关键要素相关

国家/行业标准 ≥ 5 项（通过标准立项），累计国际标准提案 ≥ 2 项。

4.实施期限

2026年11月—2029年10月。

5.项目设置及经费需求

拟支持1个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于2:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具备智能工厂或智能制造相关标准化工作基础及专业测评技术研究优势的科研院所、企业或高水平研究型大学，鼓励产学研用单位联合申报，申报联合体应具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过15家、下设课题不超过5个。

关键词：智能工厂、体系架构、工业智能应用、数智底座、数智化能力测评

二、工业机器人与智能检测装备

（一）智能检测装备

项目 2.2.1.7：精密异形零件高反光表面形貌检测装备研制及验证

1. 研究目标

高反光精密异形零件是精密机械、光学设备等领域的核心构件，其表面形貌严重影响整机精度、寿命及稳定性。针对传统三坐标测量机效率低，传统视觉检测装备无法实现高反光表面几何尺寸、形位误差、表面缺陷与粗糙度等形貌要素检测的难题，突破精密异形零件复杂表面形貌大视场宽动态测量、高精度三维重建、表面缺陷与粗糙度检测等关键技术，研发高分辨率工业相机、激光三角位移传感器、多轴精密运动平台等核心部件，开发异形零件自动化检测软件，研制精密异形零件高反光表面形貌检测装备，在飞机舱门、精密光机主反射镜、精密仪表球芯等制造场景中实现装备应用验证。

2. 研究内容

（1）异形零件高反光表面形貌检测技术

研究高反光表面纹理信息视觉感知、图像高动态融合增强、多视场扫描点云配准等技术，开发几何要素空间位置求解、微小缺陷高精度识别分类、表面粗糙度精准评价等算法，实现异形零件表面几何尺寸、形位误差、表面缺陷及粗糙度的高效检测。

（2）高反光表面形貌视觉检测相机

研究相机内外方位元素自主标定、测量相机/驱动机构协同控制算法，开发动态像移补偿及高速嵌入式预处理软件；研发宽谱窄带细分光源、大视场高分辨低畸变光学系统、超

大面阵宽动态高信噪比焦面探测器组件，研制高反光表面形貌视觉检测高分辨率工业相机。

（3）异形零件高反光表面形貌检测软件开发

研究运动平台与成像系统参数协同标定、高速同步触发与数据传输、多源测量数据时空配准、测量精度提升等算法，开发几何特征自动提取、形位误差测量、微小缺陷识别、粗糙度参数反演和三维可视化等功能模块，形成适用于异形零件高反光表面的形貌检测软件。

（4）高反光表面形貌检测装备研制

研究检测装备模块化设计技术、核心部件制造与整机装调工艺，开发多轴精密运动平台、激光三角位移传感器等核心部件，实现光机系统、运动平台、电控系统稳定集成；攻克检测装备可靠性、精度稳定性提升等技术，研制精密异形零件高反光表面形貌检测装备。

（5）高反光表面形貌检测装备应用验证

开展装备的环境适应性试验，验证关键技术参数、环境兼容性与服役可靠性等指标；建立高反光表面形貌视觉检测性能评价方法，在国产大飞机舱门、精密光机主反射镜、精密仪表球芯等制造场景中开展检测装备工程应用验证。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

- （1）高分辨率工业相机：分辨率 ≥ 1 亿像素，像素尺寸

$\geq 1.5\mu\text{m}$ ，单次自动调焦时间 $\leq 100\text{ms}$ ；单帧图像沿着光轴方向分辨率优于 $1\mu\text{m}$ ，垂直光轴方向测量范围 $\geq 15\text{mm} \times 15\text{mm}$ 、分辨率优于 $10\mu\text{m}$ ，百万点测量时间 $\leq 10\text{s}$ 、单点测量时间 $\leq 10\mu\text{s}$ 。

(2) 激光三角位移传感器：工作距离 $250\text{mm} \pm 30\text{mm}$ ，X轴视野大于 100mm ，Z轴测量重复性精度优于 $0.5\mu\text{m}$ ，Z轴线性精度优于 0.1% ，采样频率大于 1000Hz 。

(3) 多轴精密运动平台，单轴重复定位精度优于 $\pm 2\mu\text{m}$ ，最大运动速度不低于 2.5m/s 。

(4) 精密异形零件高反光表面形貌检测装备：可检零件表面最大反射率¹ ≥ 0.8 ，按照规范²全口径多画幅（幅数 ≥ 10 ）测量误差优于 0.03mm/m 。

到2029年10月，完成以下指标：

(5) 多轴精密运动平台：多轴联动重复定位精度优于 $\pm 4\mu\text{m}$ ，运动范围 $\geq 2000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 500\text{mm}$ 。

(6) 精密异形零件高反光表面形貌检测装备：可检零件表面最大反射率 ≥ 0.8 ，零件尺寸、形位误差、复杂曲面偏差的测量精度优于 0.03mm/m ；具备图像AI并行处理能力，表面缺陷检测分辨力优于 $10\mu\text{m}$ ，点、线、面缺陷漏检率 $\leq 0.1\%$ ，表面粗糙度Ra检测精度优于 $0.4\mu\text{m}$ 。

(7) 精密异形零件高反光表面形貌检测软件：每秒可

1 表面最大反射率是指物体表面反射的光通量与入射到该表面的光通量之比，用于描述物体表面反射光的性能，其值范围从0到1，0表示完全没有反射，1表示完全反射。

2 是指JJF 1951-2021《基于结构光扫描的光学三维测量系统校准规范》中推荐校准用标准器的技术要求。

处理图像数据 ≥ 20 亿像素，具备异形零件形位误差检测能力，并实现微小缺陷检测与粗糙度评价。

（8）检测装备测量范围 $\geq 2000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 500\text{mm}$ ，实现单次测量同时获得零件尺寸、形位误差、表面缺陷与粗糙度。

（9）检测装备信息安全等级符合 GB/T 35673 或 GB/T 42456 的 SL2 要求。

工程化指标:

到 2027 年 12 月，完成以下指标:

（1）在铜/镍电解极板出装槽等场景推广应用不少于 2 套。

到 2029 年 10 月，完成以下指标:

（2）精密异形零件高反光表面形貌检测装备技术就绪度（TRL） ≥ 8 级，产品设计定型，经小批量生产和实际环境下充分使用，累计运行时间 ≥ 3 个月，获得用户认可。

（3）在包含国产大飞机舱门、精密光机主反射镜、精密仪表球芯、电子元器件等制造场景应用不少于 3 套；累计在铜/镍电解极板出装槽等场景推广应用不少于 4 套。相比同等精度三坐标测量机检测效率提升 10 倍以上。

（4）装备平均无故障时间 $\geq 5000\text{h}$ ；累计通过不少于 3 家用户 12 个月以上的装备可用性验证，并累计进入不少于 5 家用户供应商目录；通过用户单位制定测试大纲的测试。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 3.25:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为检测装备制造企业或用户企业，应与国内高等院校、科研院所联合申报，申报联合体应具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：精密异形零件、高分辨率工业相机、高反光表面形貌检测

项目 2.2.2.7：船舶主承力结构钢全厚度质量状态扫描检测系统研制及验证

1.研究目标

大型高技术船舶甲板、舱壁等主承力结构主要采用多厚度高强钢制造，其在制造过程中经历多次冷热循环及相变，不可避免在不同深度产生内部应力、近表面损伤和局部高剩磁等质量缺陷，极易导致加工件报废和加工微缺陷遗留，使服役结构抗疲劳能力下降，甚至诱发层状撕裂等重大风险。针对现有内应力无损检测技术受表面盲区和层析测量能力

限制，且欠缺各类缺陷同步测量与互干扰补偿解析能力，难以应对船舶主承力结构钢质量状态高速层析成像需求问题，重点突破内外源性电磁噪声抑制和多源检测数据高速高精度三维融合重构等关键技术，研制高灵敏度全厚度内应力电磁层析传感器及全厚度质量状态同步测量传感模组，开发大幅面高精度扫描成像软件，研制全厚度质量状态层析成像系统，建立船舶主承力结构钢应力电磁标定数据库，并在大型高技术船舶甲板、舱壁等船舶主承力结构钢全厚度质量状态检测等场景开展验证与推广应用。

2.研究内容

（1）高灵敏度全厚度内应力电磁层析传感器

研究材料、器件等内源噪声与结构、环境等外源噪声优化抑制模型及电磁场钢内大深度穿透机制，明确偏置磁化与内应力间高灵敏度映射关系，开发全深度层析扫描控制电路与内应力层析反演方法，研制高灵敏度全厚度内应力电磁层析传感器，形成无检测盲区的内应力高精度层析测量能力。

（2）全厚度质量状态同步测量传感模组

研究传感器提离、姿态角及环境变温等多源现场干扰下内应力电磁信号变化特征与补偿算法，建立多深度内应力、各类表面损伤及剩磁分布等不同质量状态信号分离方法，集成主应力传感器，研制全厚度质量状态同步测量传感模组，形成对各类测量干扰源和全厚度质量状态的同步测量能力。

（3）大幅面高精度扫描成像软件

研究高精度大视野三维轮廓识别与畸变校正算法，以及基于被测物形貌的全厚度质量状态测量路径规划算法，建立多源检测数据高速高精度三维融合重构及扫描误差补偿方法，开发大幅面高精度扫描成像软件，形成适应各类结构钢形貌的质量状态检测自主路径规划与图像化定量解析能力。

（4）全厚度质量状态层析成像系统

研制柔性阵列式全厚度质量状态测量传感架构及多通道通信单元，开发基于阵列传感架构的高速高精度双侧扫描执行机构及可移动式基座载体，集成扫描测量软件，研制质量状态层析成像系统，形成对船舶主承力结构钢全厚度质量状态的高速高精度扫描与三维成像解析能力。

（5）全厚度质量状态层析成像系统应用验证

研究基于破坏检查和定量连续载荷等联用的内应力准确参考值标定方法，建立船舶主承力结构钢内应力电磁标定数据库和基于标定库的高可靠性钢内应力误差修正算法，并在大型高技术船舶甲板、舱壁等不同厚度规格船舶主承力结构钢全厚度质量状态检测等场景开展验证与推广应用。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）大幅面高精度扫描测量软件：实现适应各类结构钢形貌的全厚度质量状态测量路径自主规划能力，路径规划延迟 $\leq 2\text{min}$ ，最大规划路径距离 $\geq 2.5\text{m}$ 。

(2) 全厚度质量状态层析成像系统：实现单侧扫描能力，执行机构在运动速度 2.5m/s 条件下重复定位精度优于 $\pm 0.05\text{mm}$ ，最大执行距离 $\geq 2.5\text{m}$ 。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

(3) 高灵敏度全厚度内应力电磁层析传感器：应力检测分辨率优于 0.5MPa，灵敏度优于 200 $\mu\text{V/MPa}$ ，测量精度优于 $\pm 5\%$ 屈服强度，重复测量误差优于 10MPa，最大测量深度 $\geq 12\text{mm}$ ，层析分辨率优于 3mm。

(4) 全厚度质量状态同步测量传感模组：传感器提离测量精度优于 $\pm 1\mu\text{m}$ 、姿态角度测量精度优于 $\pm 0.3^\circ$ ，温度测量精度优于 $\pm 0.1\text{K}$ ；最小可检表面点状缺陷直径 $\Phi 2\text{mm} \times$ 深度 0.2mm，缺陷检出率 100%；最小可检表面裂纹长度 10mm $\times$ 宽度 0.15mm $\times$ 深度 0.3mm，裂纹检出率 100%；表面不平度测量精度优于 2mm/2m；剩磁检测量程 $\geq 100\text{mT}$ ，分辨率优于 0.001%FS。

(5) 大幅面高精度扫描测量软件：三维重构数据源类别 ≥ 5 种，三维图像重构延迟 $\leq 1\text{s}$ ，2.5m 扫描范围内应力扫描分析精度优于 $\pm 8\%$ 屈服强度，重复扫描测量误差优于 15MPa。

(6) 全厚度质量状态层析成像系统：柔性阵列式传感器数量 ≥ 32 个，全时域同步数据采集单元 ≥ 128 通道，非层析扫描速度 $\geq 100\text{mm/s}$ ，层析扫描速度 $\geq 20\text{mm/s}$ ，双侧同步定位误差优于 0.2mm，总测量厚度 $\geq 24\text{mm}$ ，信息安全等级符合 GB/T 35673 或 GB/T 42456 的 SL2 要求。

工程化指标:

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（1）船舶主承力结构钢全厚度质量状态层析成像系统技术就绪度 ≥ 8 级，产品设计定型，经小批量生产和实际环境下充分使用，获得客户企业应用认可。

（2）在工程现场完成内应力电磁标定 ≥ 5000 条，现场内应力扫描测量精度优于 $\pm 10\%$ 屈服强度，重复扫描测量误差优于 20MPa。

（3）在多厚度规格船舶主承力结构钢全厚度质量状态检测领域进行工程化应用，覆盖钢材规格 ≥ 10 种，连续无故障运行时间不少于 3 个月，内应力异常判断与实际报废品（放置或加工产生严重变形或损坏等）一致性不低于 90%，各类表面缺陷和剩磁检测效率相较人工提高 3 倍以上。

（4）在钢铁、船舶、精密构件等领域推广应用不少于 5 套。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 3.25:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为船舶主承力结构钢生产企业，应与国内相关优势制造企业、科研院所、高校等联合申报，申报联合体具备较强的专业研发团队和完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：全厚度内应力、船舶主承力结构钢层析成像、多源干扰补偿、自主路径规划

三、先进自动化与智能管控系统

（一）高端控制器与自动化仪表

项目 3.1.4.1：高品质钢生产过程在线质量监测与优化调控系统及工程验证

1.研究目标

以高铁轮对、特大型液化天然气储罐、汽车关键零部件用钢等为代表的高品质钢对成分及组织的控制要求严格，但由于其生产过程存在熔炼过程成分信息获取不及时、钢坯轧锻与热处理过程组织信息反馈慢等问题，使得精炼、轧锻与热处理过程中成分及组织难以精准控制，造成产品质量不稳定、生产成本低、效率低。针对以上问题，研制面向冶金等行业的金属熔体微量元素高灵敏检测仪表和金属轧锻件金相全自动检测仪表，开发高品质钢生产过程在线质量监测与优化调控系统，并在典型高品质钢生产线开展集成应用，实现生产过程关键参数的在线检测与工艺优化调控，提升质

量反馈效率、可追溯性和准确性，进而提高产品质量稳定性和生产效率。

2.研究内容

（1）金属熔体微量元素高灵敏检测仪表

研究超高温与强腐蚀极端冶金环境下的高稳定熔体采样、多源噪声抑制、微量元素的深紫外光极端环境下高灵敏探测与强化表征、混杂元素成分的高精度分析建模及同步快速解算、软硬件长期漂移智能校准等关键技术；研制高性能激光器、深紫外高灵敏光电探测器、宽谱段高分辨光谱仪、耐高温抗热震采样探枪等核心部件；开发“监测—分析—校准”一体化软件，研制面向金属熔体微量元素高灵敏检测的高可靠、高稳定元素在线激光测量分析仪表系统。

（2）金属轧锻件金相全自动检测仪表

研究微观结构高效可控无畸变显化、金相图像智能识别、低倍放大缺陷实时判别等关键技术；研制大物镜高分辨金相显微镜模块、亚微米级四轴试样定位载物台、多功能高效自动腐蚀模块和自动金相观察控制模块等智能金相显微镜核心部件；建立非金属夹杂物、脱碳层、晶粒度和组织类型等参数快速精准判定与评级的金相自动分析人工智能算法大模型，开发一体化金相分析软件平台，研制面向金属轧锻件金相全自动检测的高可靠、高稳定金属材料加工全流程金相智能检测系统。

（3）高品质钢生产过程工艺参数优化调控技术

研究融合钢液成分在线检测数据的精炼工艺动态调控技术，建立多元多场多相流耦合与传质融合模型、多工艺参数动态优化模型，实现钢液成分精准控制及有害元素高效去除；研究融合全自动金相检测数据的轧锻与热处理工艺制度优化技术，缩短加热、变形及冷却等工艺制度的优化周期，实现加工质量全自动检测及材料组织性能的窄波动精准调控；开发融合在线/临线检测数据与调控模型的高品质钢生产线关键工序工艺优化调控软件。

（4）在线质量监测与优化调控系统及工程验证

研究在线测量仪表与熔炼、轧锻与热处理工序的冶金工艺协同优化设计技术，完成仪表在熔炼工序、成型加工工序的安装部署；建立检测—控制一体化软硬件架构，实现仪表与现场控制系统的物理集成与数据互联，形成闭环数据链路；研制覆盖熔炼、轧锻与热处理等工艺的质量监测与优化调控系统，实现检测仪表与调控软件的系统集成，在元素成分在线检测、金属坯料加工质量及服役安全检测等场景开展应用验证，实现高品质钢生产等场景工程验证。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）金属熔体微量元素高灵敏检测仪表，脉冲激光器能量 $\geq 100\text{mJ}$ ，频率 $\geq 20\text{Hz}$ ，寿命 ≥ 10 亿脉冲，能量稳定性¹优

¹ 激光能量稳定性，用于衡量激光脉冲能量的波动程度，用相对标准偏差表示。计算公式：能量稳定

于 1%；光电探测器光谱响应范围 160—900nm，峰值量子效率¹≥80%；像增强型探测器工作波段覆盖 175—200nm，最高增益≥1000；光谱仪分辨率优于 0.05nm@253.65nm。

（2）金属轧锻件金相全自动检测仪表，100 倍放大倍率下试样图像的扫描速度≥4mm²/s；试样定位载物台的 XY 轴定位精度优于 1μm，AI 视觉轮廓定位精度优于 0.05mm；金相显微镜相机分辨率≥1200 万像素，100 倍物镜数值孔径≥0.8；实现金相试验制样、腐蚀、显微镜观察、算法检测、结果评级、报告生成的全流程自动化；高品质钢中晶粒度、脱碳层和非金属夹杂物的检出率²≥95%，错检率³≤10%，晶粒度和非金属夹杂物的评级准确率⁴≥95%。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（3）金属熔体微量元素高灵敏检测仪表，熔体金属中 C、Si、Mn、P、S 等元素检出限≤0.01%，Al、Ti 等金属元素检出限≤0.002%，含量 0.1%量级合金元素的检测稳定性优于 10%；软件具备仪器状态多参数监测、多元素同步快速分析、自诊断与自校准等功能。

（4）金属轧锻件金相全自动检测仪表，微观结构高效可控无畸变显化的时间≤1min，自动评级时间≤10s；软件具

性=能量标准偏差/能量均值×100%。

1 探测器量子效率，指探测器将入射光子转换为电子的效率，即单位时间内产生的光电子数与入射光子数之比，以百分比（%）表示。

2 检出率，是指实际不合格样本中，被仪表正确检出不合格样本的比例×100%。

3 错检率，是指实际合格的样本中，被仪表误判为不合格样本的比例×100%。

4 评级准确率，是指仪表对样本评级的正确比例×100%。

备多模块最优协同、端对端软件控制和跨模块数据整合等功能。

（5）高品质钢生产过程在线质量监测与优化调控系统，支持两种仪表检测数据实时传输、历史数据存储、异常报警、控制策略和指令输出与执行，实现关键参数优化控制，精炼平均成分调控周期¹缩短 $\geq 20\%$ ，轧锻与热处理工艺制度优化周期²缩短 $\geq 30\%$ 。

工程化指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）金属熔体微量元素高灵敏检测仪表和金属轧锻件金相全自动检测仪表核心部件自研配套 $\geq 90\%$ 。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（2）两种仪表技术就绪度（TRL） ≥ 8 级，产品设计定型，经小批量生产和实际环境下充分使用，获得用户认可。

（3）在高品质钢生产线开展示范应用，即在熔炼工序和成型加工工序分别部署安装金属熔体微量元素高灵敏检测仪表和金属轧锻件金相全自动检测仪表，各仪表系统均通过用户不少于 3 个月的适用性验证。

（4）金属熔体微量元素高灵敏检测仪表，冶金熔体检测最高适应温度 $\geq 1670^{\circ}\text{C}$ ，合金熔炼过程元素成分检测时间

1 成分调控周期，是指熔炼过程中从开始检测钢液成分到根据检测结果开始加入合金调控成分的时间间隔。取不少于 50 炉次的成分调控周期的平均值作为平均成分调控周期。

2 优化周期，是指在轧锻或热处理等场景，“取样—送实验室—制样—显微镜观察—结果评价—发现问题—调整制度”所用时间，通过对比系统应用前后的用时确定优化周期缩短比例。

≤2min；高品质钢精炼熔渣与金属同步测量；仪表平均无故障时间≥10000h。

（5）金属轧锻件金相全自动检测仪表，全流程金相检测自动化，高品质钢单个试样统计平均检测时间≤10min；系统可靠性¹≥98%，仪表平均无故障时间≥5000h。

（6）高品质钢生产过程在线质量监测与优化调控系统，精炼终点关键元素质量分数稳定性提高²≥50%，目标钢种的成分统计符合度³≥99.8%，轧制工序产品性能批次稳定性CPK 指数⁴> 1.33。

（7）除在牵头申报单位的高品质钢生产线示范应用外，每种仪表还需扩展应用≥2 套。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 3.25:1。

1 系统可靠性，是指整机系统在无人工干预下全自动完成金相检测流程的任务成功率。取不少于 50 个金相检测试样，任务成功率=成功完成全自动金相检测的试样数/试样总数。

2 终点关键元素质量分数稳定性提高，是指试验钢种 LF 精炼终点某一种或多种关键元素成分控制范围的缩小。

3 成分统计符合度，是指在应用测量系统后，产品成分达到预设目标或产品标准的比例。

4 轧制工序批次稳定性 CPK 指数， $CPK = \min\{(USL - \mu), (\mu - LSL)\} / 3\sigma$ ，USL 和 LSL 为约定参数控制上限和下限， μ 为实际参数平均值， σ 为标准差， $\sigma = R/d_2$ ，R 为样本均差的极值；d2 是与样本数量相关的量，可查表。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具备高品质钢生产制造能力的企业，鼓励产学研用单位联合申报，申报联合体应具备较强的专业研发团队，以及完善的试验研究、生产制造、集成应用等条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：高品质钢，熔体检测仪表，金相检测仪表，调控系统

（二）离散制造柔性管控系统

项目 3.2.1.8：大型水电机组跨企业制造资源调度与质量管控平台研制及工程验证

1.研究目标

大型水电机组需求波动大、制造周期长，使得供应链稳定性差，供应商产品质量及交期难以保障。针对供应链不稳定导致的计划排不准、资源协调难、质量保证难等突出问题，研究供应商制造能力和产能配给不确定下的智能柔性排程与资源配置动态监测及优化调度、面向分级供应商的 ITP(检验与测试计划)质量控制点自适应生成及自主判定等核心技术，研制大型水电机组制造供应链资源调度和质量管控平台，支持主机厂与供应链企业共享模型、工艺、质控等基础能力和需求、计划与变更等动态信息，实现对百家量级供应链企业的资源调度和质量管控，在大型冲击式水电机组制造

过程中开展工程验证，带动供应链上企业的数转智改，提升机组的高质量准时交付能力，保障国家能源安全。

2.研究内容

（1）面向不稳定供应链的计划排程与资源调度技术研究

针对大型水电机组制造计划排不准、资源难协调等问题，研究供应商能力量化评估体系与动态标定、供应商产能配给不确定下智能柔性排程、供应商资源配置动态监测及优化调度等关键技术，研制面向不稳定供应链的计划排程和资源调度系统，实现供应链上供需关系的动态适配以及物料延迟、产能波动等扰动下全链资源的高效协调。

（2）面向分级供应商的制造质量协同管控技术研究

针对大型水电机组制造过程中外协和分包的核心部件质量不稳定、质量缺陷溯源难等问题，研究分级供应商 ITP（检验与测试计划）质量控制点自适应生成、数据驱动的 ITP 控制点质量评估和预警、质量问题追溯等关键技术，研制面向分级供应商的制造质量协同管控系统，实现在供应商能力不一致条件下保障制造质量的稳定性与可控性。

（3）大型水电机组制造供应链资源调度与质量管控平台研制

优化大型水电机组制造供应链资源调度与质量管控业务流程，设计高可用、可扩展、易维护的软件平台架构，研究供应商制造过程数据可信汇聚和评估建模技术等，集成上

述系统，研制大型水电机组制造供应链资源调度与质量管控平台，具备供应商制造过程数据的可信汇聚和精准评估能力、面向不稳定供应链的计划排程和资源调度能力、面向分级供应商的制造质量协同管控能力等。

（4）大型水电机组制造供应链资源调度与质量管控平台工程验证

基于研制的大型水电机组制造供应链资源调度与质量管控平台，汇聚供应商的制造过程数据，并与供应商共享模型、工艺等基础能力以及需求、计划与变更等动态信息，在大型冲击式水电机组制造中开展技术验证与工程化应用，迭代优化平台功能，实现提高供应链协同生产效率和订单按时交货率、降低供应商产品质量缺陷等，缩短机组整体设计制造周期，提升我国大型水电机组高质量准时交付能力。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）面向不稳定供应链的计划排程和资源调度系统，支持核心供应商制造全过程可视化跟踪，关键供应商制造能力评估效率从天级提升到分钟级，支持考虑供应商产能波动的计划排程，计划准确率 $\geq 90\%$ ，基于计划状态的多级物料调度算法 ≥ 5 项。

（2）面向分级供应商的制造质量协同管控系统，支持不少于 6 个核心部件、不少于 10 家供应商的 ITP 质量控制

点自动生成率 $\geq 30\%$ ，支持数据驱动的质量评估。

（3）大型水电机组制造供应链资源调度与质量管控平台，完成平台设计，供应商制造过程数据可信汇聚系统涵盖供应商产能负荷分析模型、产能平衡分析模型等不少于 6 类数据模型，支持不少于 10 家核心供应商的数据汇聚。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（4）面向不稳定供应链的计划排程和资源调度系统，支持供应链物流全流程可视化跟踪，关键供应商的制造能力波动率在 15% 以内不触发重调度，物料延迟、产能波动等扰动的自适应调度时间从天级提升到小时级，基于计划状态的多级物料调度算法 ≥ 20 项。

（5）面向分级供应商的制造质量协同管控系统，支持分级供应商和关键部件的 ITP 质量控制点自动生成率 $\geq 80\%$ ，基于采集数据的质量自动评估和预警准确率 $\geq 85\%$ ，支持不少于 95% 水电机组核心部件的质量缺陷追溯。

（6）大型水电机组制造供应链资源调度与质量管控平台，后端接口平均响应时间 $\leq 1.0s$ 、P95 响应时间 $\leq 1.5s$ ，稳定吞吐量 $\geq 100QPS$ 、峰值吞吐量 $\geq 150QPS$ ，活跃操作并发支撑量 ≥ 300 ，集成面向不稳定供应链的计划排程和资源调度系统和面向分级供应商的制造质量协同管控系统完整功能。

工程化指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）大型水电机组制造供应链资源调度与质量管控平

台，在大型高水头冲击式水电机组的喷嘴、定子机座、转子支架等 6 个及以上核心部件上进行验证，覆盖不少于 10 家核心供应商。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（2）大型水电机组制造供应链资源调度与质量管控平台技术就绪度（TRL） ≥ 8 级，产品设计定型，经实际环境下充分应用与验证，各项指标满足使用要求，连续无故障运行 ≥ 3 个月。

（3）在 500MW 及以上的大型高水头冲击式水电机组供应链上进行验证，覆盖战略供应商、核心供应商和一般供应商等三类供应商企业合计不少于 100 家，实现供应链协同生产效率¹提高 $\geq 40\%$ ，库存周转率提高 $\geq 25\%$ ，订单按时交货率提高 $\geq 20\%$ ，物料准时交付率 $\geq 96\%$ ，交货期答复准确率³ $\geq 90\%$ ，总装物料齐套率提升 30%，供应链异常决策效率提升 $\geq 30\%$ ，外包 NCR（不合格报告）下降 $\geq 25\%$ ，外包质量缺陷追溯率 $\geq 95\%$ ，机组整体设计制造周期缩短 $\geq 30\%$ 。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

1 供应链协同生产效率=当前供应链协同生产周期/原供应链协同生产周期 $\times 100\%$ ，其中，供应链协同生产周期=工艺文件交付与指导周期+供应商生产周期+质量见证点检查周期。

3 交货期答复准确率=按期达成承诺交货部件数量/机组总交货部件数量 $\times 100\%$ 。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 3.25:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事后补助。

6.申报条件

牵头申报单位应是具备大型冲击式水电机组整机研制的优势装备制造企业。鼓励产学研用单位联合申报，申报联合体应由相关领域的优势团队组成，具备完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：大型水电机组，不稳定供应链，制造资源调度，质量管控

项目 3.2.2.3：汽车制造生产线仿真与虚拟调试软件研制及工程验证

1.研究目标

新产品迭代周期大幅缩短背景下，汽车制造生产线机电系统面临集成过程复杂、虚拟仿真与现场工况偏差大、实物调试周期长等问题，亟需突破生产线多领域多维度知识建模、装备运动建模与工站工艺逻辑映射、软硬件在环（SIL/HIL）虚拟验证等技术，研制汽车制造生产线仿真与虚拟调试软件，在国产化生产线上开展应用验证，实现产线仿真与虚拟调试的闭环优化，缩短生产线实物调试周期。

2.研究内容

（1）汽车制造生产线知识建模与工艺规划技术

研究面向汽车制造生产线的统一知识建模技术；构建材料性能、产品结构、制造工艺、生产装备关联关系的汽车制造生产线制造工艺知识图谱，覆盖机械结构、电气信号、控制逻辑等多维数据对象，构建汽车制造生产线制造资源模型库，包含焊接、总装等典型制造单元的可复用模型组件，支撑产线的快速重构；研究基于工艺需求识别的工艺流程自动建模技术，研制工艺需求解析引擎，实现基于可制造性分析的工艺流程生成。

（2）汽车制造生产线离散事件与工序状态混合仿真技术

研究基于工艺需求规划的工序逻辑与电气单元映射技术，训练基于程序模板、历史案例的逻辑控制代码生成模型，实现 PLC 逻辑控制程序自动生成，涵盖 I/O 自动配置、逻辑块生成、点焊/涂胶/上下料等典型工艺程序自动编制；研究基于事件步长与固定步长的离散事件混合求解技术；研制汽车制造生产线与机器人仿真组件，支持离散事件、产线控制逻辑、机器人动作协同仿真。

（3）汽车制造生产线软硬件在环与 I/O 同步技术

研究面向汽车制造生产线的数字量/模拟量周期同步与时间戳对齐技术，实现机器人与 PLC 信号互锁、控制逻辑冲突等有效核验；研究机器人离线程序自动规划，支持多机器人协同路径规划、节拍最优轨迹生成、碰撞干涉检测，实现 PLC、机器人等控制程序与物理装备虚实联动的生产任务孪

生；研制汽车制造生产线软硬件在环调试组件，实现 PLC 逻辑虚拟调试、机器人轨迹虚拟调试、多工艺联合的多机器人并行协同调试。

（4）汽车制造生产线设计优化技术

研究基于点云对象分类着色与三维空间扩展遗传算法，研制点云模型与几何实体模型混合布局生成组件，支持点云模型自动拆分与去噪；研究融合多维工业生产要素的时序训练学习、离散事件多因子分析与多目标优化技术，开发产线优化决策工具，支持工位缓冲区优化、物流路径优化、工位布局优化等多维度决策建议自动生成，支持复杂产线 OEE、多时序节拍、工序瓶颈、吞吐量、产线复杂成本的优化决策，研制汽车制造生产线设计优化组件，实现产线虚拟调试结果自动解析、反向反馈、参数迭代、方案优化。

（5）汽车制造生产线仿真与虚拟调试平台应用验证

研制汽车制造生产线仿真与虚拟调试软件，以制造工艺知识图谱与制造资源模型库为基础，集成工艺需求解析引擎、汽车制造生产线与机器人仿真组件、软硬件在环调试组件、生产线设计优化组件等组件，支持地板总成、侧围合装、四门两盖分装、车身总拼、整车总装等典型汽车制造工艺段的适配应用，同时在新能源汽车制造、工程机械等行业实现工程化验证。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）构建制造工艺知识图谱与制造资源模型库，制造工艺知识图谱兼容电气、自动化、管路、型材、气动、液压、操作、工装等主要门类，制造资源模型库支持模型组件组合形成标准工装库、车身夹具库、电阻焊/激光焊/螺柱焊枪库、重型钣金夹具库、打磨头库、弧焊焊枪库，可覆盖对接、拧紧、螺接、压接、套接、胶接、插装、定位、焊接、压装、移载、装配、搬运、打磨等 50 类以上典型工艺专机与资源组件封装。

（2）软硬件在环调试组件，支持机器人、焊枪、涂胶机、传送带、气缸、传感器、工装夹具等 10 种以上工艺设备的逻辑程序验证。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（3）汽车制造生产线与机器人仿真组件，支持包括逻辑、数据、时间、运算和运动控制等 100 种通用控制函数；支持最大 200 个控制任务并发执行。

（4）软硬件在环调试组件支持 Profinet、EtherCAT、Ethernet/IP 等 3 种以上工业总线接口，单总线支持 IO 点数 ≥ 2048 点；具备 30 种以上主流机器人作业程序开发调试能力。

（5）制造工艺知识图谱兼容电气、自动化、管路、型材、气动、液压、操作、工装等主要门类上万种标准接口建模表征分类属性，支持 10 种以上常用电气元件格式转换，制造资源模型库建模规范遵守 IEC TR 62794、IEC 62832、

ISO 29002-5、ISO/IEC 20140-5、IEC 62443、IEC 61346 等国际标准；研制工艺需求规划引擎，支持加工、焊接、表面处理、装配等 4 大类 50 种以上典型制造工艺的识别。

（6）汽车制造生产线与机器人仿真组件节拍仿真计算误差率¹ < 2%。

（7）点云模型与几何实体模型混合布局生成组件支持岛式加工、单流焊接、多流装配等典型产线构型的三维自动化布局，点云数据处理规模可达十亿级，布局生成时间周期达分钟级；产线设计优化组件支持万级零件规模的产线三维模型重构，支持电气控制柜三维布局生成，比传统方式人工画图效率提升 ≥ 80%。

工程化指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）软硬件在环调试组件适配国产机器人 ≥ 3 家，适配国产 PLC ≥ 3 家。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（2）软硬件在环调试组件具备全线国产设备验证能力，线体级的虚拟调试支持线体 PLC 数量 ≥ 3 套，每套 PLC 适配国产机器人数量 ≥ 20 台，虚拟调试后 PLC 与机器人程序现场可用性² > 90%，产线调试周期³ 缩短 30%。

1 节拍误差率 = $1 - (\text{物理产线节拍} / \text{虚拟产线节拍}) \times 100\%$

2 虚拟调试平台支持现场程序可用性 = $(\text{虚拟调试输出代码行数} - \text{现场修改代码行数}) / \text{虚拟调试输出代码行数} \times 100\%$

3 产线调试周期指设备通电、PLC 程序下载、I/O 点位调试开始到满足量产放行（SOP）的日历天数。

(3) 汽车制造生产线仿真与虚拟调试软件技术就绪度 (TRL) ≥ 8 级, 产品设计定型, 在新能源汽车、工程机械等行业完成不少于 5 个以上的实际工程应用, 累计运行时间 ≥ 3 个月。

(4) 覆盖典型汽车工艺场景不少于 5 个, 支撑典型工艺场景的知识模型库总体组件资源规模达到千万级实例。

(5) 支持 100 种组件 (含算法、工具、轻应用) 在国家级开源代码托管平台 (AtomGit) 上开源。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目, 采用公开竞争方式。

所属创新分类: 重大共性关键技术。

其他来源资金 (包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金) 与中央财政资金比例原则上不低于 3.25:1。

中央财政投入支持方式: 事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具备汽车制造工艺自主规划优势的汽车主机厂、汽车系统集成企业、工业自动化系统供应商或工业软件企业, 应与国内相关企业、高等院校、科研院所等联合申报, 申报联合体应具备较强的专业研发团队和完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：虚拟调试、产线仿真、生产资源建模、产线工艺规划

项目 3.2.3.3：大涵道比商用航空发动机转子堆叠装配系统研制及工程验证

1.研究目标

大涵道比商用航空发动机尺寸大、重量高、堆叠层级多、同轴度与质量平衡精度要求高，传统装配技术体系以人工为主，导致装配效率低、合格率难以保证。针对上述问题，研究多级转子全域覆盖自动测量、非刚性转子堆叠过程同心度与不平衡量预测、关键工艺参数动态优化和多层级调控等技术，研制大涵道比商用航空发动机转子堆叠装配系统，实现多级转子“测量—预测—决策—执行”的闭环融合，在大涵道比商用发动机转子装配现场开展工程验证，为国产商用航空发动机量产提供软件与硬件支撑。

2.研究内容

（1）多级转子复杂空间关键几何特征测量技术

研究光、电传感器在移动过程中的动态干涉规避与路径规划技术，同时覆盖转子内腔、外部结构和装配面的自动精密测量技术，多源传感数据空间基准统一与多模态数据融合技术，研制适用于转子配合端面、止口柱面、封严篦齿等复杂结构的精密测量装置，为转子堆叠装配系统提供数据支撑。

（2）多级转子堆叠装配误差预测技术

研究转子堆叠装配零部件多测量位置、多测量参数种类数据耦合机理与数字模型映射技术，转子核心部件“热—力”连接变形预测技术，装配零件配合面微观形貌与组件结合部连接变形的装配力学仿真技术，研制适用于多型号多级转子堆叠装配几何偏心与不平衡量高精度预测软件，构建转子堆叠装配系统底层内核。

（3）转子堆叠装配多层级动态调控技术

研究多级转子几何参数与不平衡参数的非线性映射技术，双目标协同优化的多级转子堆叠最优相位决策技术，自演进与进化能力的多级转子间零部件选配组合优化技术，转子组件不平衡量的多层级主动调控技术，研制面向多级转子堆叠装配多层级动态调控软件，构建转子堆叠装配系统决策中枢。

（4）转子堆叠装配系统集成与工程验证

在大涵道比商用航空发动机批产脉动生产线中，面向多型号发动机转子连接装配过程，研究装配与分解执行、非几何量自动检测及数据全量贯通式采集等技术，集成几何测量装置与预测调控软件，构建“测量—预测—决策—执行”闭环自动化装配系统，在长江系列发动机部装和总装现场开展全流程工艺试验与型号示范应用。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

(1) 转子堆叠装配精度预测软件 1 套, 适用于 1 种型号、级数不少于 10 级的转子; 转子堆叠几何偏心矢量预测误差¹优于 0.015mm。

到 2029 年 10 月, 完成以下指标:

(2) 转子堆叠几何特征精密测量装置 1 套, 支持不少于光、电等 2 种检测方式; 可测量转子配合端面、止口柱面、封严篦齿等不少于 3 种典型位置; 直径与高度测量误差优于 0.01mm, 跳动测量误差²优于 0.003mm, 干涉校验精度³优于 3mm, 几何尺寸和跳动测量周期⁴≤3 小时。

(3) 转子堆叠装配精度预测软件 1 套, 适用于不少于 2 种型号、级数不少于 12 级的转子; 转子堆叠几何偏心矢量预测误差优于 0.01mm; 转子组件的不平衡矢量和预测误差⁵优于 500g·mm。

(4) 转子堆叠装配动态调控软件 1 套, 具备相位优化、不平衡量调控、零部件选配、零件再制造评估等不少于 4 种调控功能; 调控成功率≥95%; 对于含有级数不少于 12 级的高压组合转子, 相位优化时间周期⁶≤2 小时。

(5) 发动机转子精密堆叠自动化装配平台 1 套, 具备:

1 转子堆叠几何偏心矢量预测误差=||实测关键截面偏心矢量-预测关键截面偏心矢量||。

2 跳动测量误差=||测量值-标准转子实际值或在标准转台测量值||。

3 干涉校验精度为最大绝对距离误差, 绝对距离误差=||机器人末端传感器与工件之间的实测距离-干涉校验系统计算的理论距离||。

4 测量周期计时从装配完成到测量结束, 当前时间 4 小时。

5 不包含活动叶片情况下, 转子组件的不平衡矢量和预测误差=||实测不平衡矢量和-预测不平衡矢量和||。

6 在转子装配前, 由调控软件计算的最优装配相位的总时间。

螺纹紧固、预紧力检测、紧固件自动润滑、自动标印、感应加热、主动回温、专用工装与转子零部件自动物流等不少于 7 种自动化功能，上述功能自动化率 $\geq 80\%$ ，过程数据自动化采集率 100%。

工程化指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）高压压气机转子堆叠装配精度预测软件在长江系列发动机转子制造过程中进行工程验证 ≥ 10 台次。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（2）转子堆叠装配系统技术就绪度（TRL） ≥ 8 级，在长江系列发动机转子制造过程中进行工程验证，累计应用时间不少于 3 个月，完成装配 ≥ 100 台次。

（3）转子堆叠装配系统装配单台发动机转子总工时¹ ≤ 14 小时，同心度合格率 $\geq 95\%$ ；不平衡量合格率 $\geq 95\%$ 。

（4）研制航空发动机转子精密堆叠装配相关国家/行业标准 ≥ 1 项（通过标准立项）。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其

¹ 2 级盘、5 级盘堆叠装配总时间，当前约 20 小时。

他渠道资金)与中央财政资金比例原则上不低于 3.25:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具备大涵道比商用航空发动机研发优势的制造企业，应与相关领域科研院所、优势企业、高水平研究型大学等联合申报，申报联合体具备较强的专业研发团队和完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：堆叠装配，几何测量，误差预测，动态调控，集成验证

(三) 过程工业全流程优化系统

项目 3.3.1.3：高压强放热反应装置运行风险评估与主动防控软件研制及工程验证

1.研究目标

石化高压强放热装置具有高能量密度、高耦合复杂度的特点，传统单点安全防控手段难以有效防控反应系统温升异常、压力反窜导致的非计划停工风险。从“感知—评估—防控”全链条出发，突破动静设备健康状态感知、飞温与窜压风险量化评估、安全风险分级与主动防控等关键技术，研制高压强放热反应装置动态风险评估与主动防控软件，开展工程验证，实现装置运行风险从单点经验判断向系统性风险管控的范式转变，降低反应温升异常与压力反窜风险，减少非计划停工损失。

2.研究内容

（1）高压强放热反应装置动静设备在线健康诊断技术

研究循环压缩机等动设备健康状态辨识与性能退化趋势预测技术；研究原料属性、温度、防腐蚀剂注入量等因素对高风险静设备腐蚀状态的影响规律，研发 pH、氯含量、硫含量等腐蚀密切相关指标的软测量模型，研发机理和数据融合的静设备关键部位腐蚀损伤预测技术；研究腐蚀速率等设备本体状态信号与工艺运行参数耦合关系，研究动静设备安全状态变化导致反应热平衡失稳、压力界面波动的协同感知技术；研发集成动静设备监测功能的设备健康状态在线诊断模块。

（2）反应装置飞温与窜压的风险演化预测及评估技术

构建设备健康状态与工艺参数波动导致飞温与窜压的风险演化模型，研究工艺安全边界预测技术；研究设备健康状态与安全运行时限的定量关系，研究基于风险演化模型的剩余安全运行时间预测技术；研究融合设备健康状态与工艺波动特征的反应温升异常、压力反窜等动态风险分级评估技术；研发支撑分级管控决策的安全风险监测与动态评估模块。

（3）高压强放热反应装置风险分级主动防控策略

基于动态风险等级与剩余安全运行时间，构建“工艺调控—有序降级—主动停车”三级主动防控策略；研究进料量、冷却介质循环量等关键工艺参数微调策略及设备远程运维

技术，抑制早期风险；研究基于设备健康状态的工况切换与预防性降负荷等有序降级策略，延缓风险演化；研究紧急状态触发的停车策略，阻断事故发生；研究三级策略的触发条件与切换规则，研制主动防控策略库。

（4）高压强放热反应装置动态风险评估与主动防控软件

研究多模块标准化接口与系统集成架构，实现设备健康状态在线诊断、风险评估模块与主动防控策略库的集成；研发温升异常、压力反窜等典型场景的风险演化过程动态仿真模块，验证主动防控策略的有效性；研发人机协同可视化决策、知识经验注入与策略库动态更新模块，支持风险在线评估与主动防控策略优化；研制高压强放热反应装置动态风险评估与主动防控软件。

（5）高压强放热反应装置风险评估与主动防控工程验证

研制本安型非接触式腐蚀在线监测设备，研发防爆机器人与红外热传感、组分传感器与仪表等装备集成技术；选取代表性石化高压强放热反应装置，开展风险评估与主动防控软件的工程验证，实现从风险实时感知、量化评估分级到主动防控策略优化的闭环管控，支撑装置运行风险从单点经验判断向系统性风险管控范式转变。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）设备健康状态在线监测模块，具备动设备（振动、温度、转速），静设备（壁厚、腐蚀电位），工艺参数（温度、压力、流量、组分、液位）等多源数据融合能力，建立包含 pH、氯含量、硫含量等 3 个以上与腐蚀密切相关指标的软测量模型，模型误差¹≤10%；模块能够接入并处理腐蚀在线检测设备的壁厚测量数据，结合机理模型实现静设备腐蚀速率预测，覆盖反应流出物系统、分馏系统等复杂管道腐蚀场景，预测误差²≤5mil/年；覆盖循环压缩机、高压进料泵等 2 种以上动设备 5 种以上故障类型的设备健康状态监测，故障辨识准确率³≥90%。

（2）动态风险评估模块，支持动态安全边界、安全剩余时间、风险值计算，包含反应床层温升动态仿真模型，反应温升预测误差⁴≤10%，支持典型温升异常、窜压场景的风险演化链条⁵≥8 种。

（3）三级主动防控策略库，覆盖工艺参数微调、有序降级操作、主动停车 3 类，以及防控策略的触发和切换规则；

1 软测量模型是一种通过易测的辅助变量来间接推算难测/不可测的关键工艺变量的建模方法。软测量模型误差=|模型计算值-人工采样测量值|/人工采样测量值×100%。基线值≤15%，项目指标≤10%。

2 反应流出物系统、分馏系统等复杂管道少部分有电感腐蚀探针覆盖，利用电感探针测量得到的数据，结合在线测厚数据能够在 6 个月应用期内验证腐蚀速率预测精度。腐蚀速率预测误差=|模型预测值-电感探针历史数据回归值|/电感探针历史数据回归值×100%。

3 辨识准确率=经确认的设备异常报警次数/检测到的设备异常次数×100%。

4 反应温升是指反应器进出口温差，如反应入口 400℃，出口 450℃，反应温升为 50℃。温升异常是反应器进出口温差指超过工艺允许阈值，阈值一般设置 5℃，如出口温度达到 455℃，需要人工介入。

5 引发飞温的主要因素包括：冷却失效、入口温度过高、原料性质改变等；引发窜压的主要因素包括：单向阀失效、进料泵停机、分离器液位异常等。

涵盖进料异常、冷却失效、热负荷变化、压力异常 4 类风险场景，包含不少于 50 种策略。

（4）高压强放热反应装置动态风险评估与主动防控软件，包含设备健康状态在线监控、风险评估模块、主动防控策略库等功能模块；数据采集模块指标，支持不少于 1000 个实时数据点的并发处理，采样周期 10ms—1s，可配置；搭建风险演化过程动态仿真模块，搭建覆盖不少于 8 种场景风险演化链条的仿真运行流程。

（5）本安型非接触式腐蚀在线监测设备¹，量程 1—200mm，工作温度 -20—300℃，精度优于±0.1mm，防爆等级 Ex ib IIB T4 及以上，防护等级不低于 IP68。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（6）在高压强放热反应装置动态风险评估与主动防控软件上完成飞温、窜压主动防控策略的风险演化计算与仿真验证，防控策略生成时效≤60s，工艺参数微调策略对早期风险抑制成功率²≥90%。

工程化指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）本安型非接触式腐蚀在线监测设备，通过防爆认证，达到 Ex ib IIB T4 及以上等级，具备上线运行条件。

1 高压强放热装置典型壁厚 150—200mm，反应流出物后处理在 50—300℃。国内目前尚无适用于此类环境的腐蚀检测技术和装备。

2 风险抑制成功率= 工艺参数微调成功消除的早期风险次数/系统识别的早期风险总次数×100%；针对稳态运行期间渐进型工艺参数偏离事件，利用动态仿真模型验证主动防控策略，注入不少于 100 组标准扰动工况（涵盖进料波动、冷却失效、热负荷变化、压力波动 4 类扰动源），统计风险抑制成功率。

(2) 腐蚀在线监测设备样机部署与验证：在高压强放热反应装置安装部署 ≥ 5 台套，覆盖反应流出物系统，分馏系统等复杂管路，设备具备24小时不间断数据采集与传输能力，数据上传至设备健康状态在线监测模块，以验证腐蚀速率预测精度。

到2029年10月，完成以下指标：

(3) 研发机器人巡检系统样机1台套以上，在典型高压强放热反应装置（含中试装置）开展应用，涵盖安全巡检、泄漏检测、高危/密闭场所处置等场景。

(4) 高压强放热反应装置运行风险评估与主动防控软件技术就绪度（TRL） ≥ 8 级，产品设计定型，经实际环境下充分使用，获得用户认可，通过首版次软件评测。

(5) 在石化行业2套及以上典型高压强放热装置上构建主动防控软件应用示范系统，其中，单套产能不低于100万吨/年的高压强放热反应装置不少于1套。

(6) 在装置上累计完成不少于6个月的连续运行验证；系统运行期间，在不改变原有报警阈值的前提下，高压强放热装置反应温升、界面压差等关键工艺指标报警频次 ≤ 6 次/小时；在确保不影响装置安全生产的前提下，基于装置历史异常数据回溯、可能发生的实际温升异常事件，推送工艺参数调控策略，对早期风险处置的成功率¹ $\geq 85\%$ ，推送有序降

1 早期风险抑制成功率=微调策略抑制风险次数/系统识别早期风险总次数 $\times 100\%$ ；根据历史异常样本进行微调策略抑制成功率验证，以及工程验证期间实际装置产生的早期风险，系统推送的工艺微调策略，能够被接受执行，并且成功处置风险的比例，其中覆盖典型历史风险早期处置案例不少于10例。

级策略的执行率¹≥80%。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 3.25:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具备石油化工工艺与装备风险辨识与评估系统研发优势的企业，应与高等院校、科研院所、系统集成商或用户单位等联合申报，联合体具备较强的专业研发团队和完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：生产安全、风险感知、监测预警、炼油炼化

项目 3.3.1.4：烯烃—聚烯烃生产过程能质耦合工艺仿真软件研制及工程验证

1.研究目标

针对石化行业烯烃、聚烯烃等典型生产过程能质耦合工艺仿真偏差大、质量指标预测准确率低导致产品质量调控能

1 有序降级策略的执行率=系统推送有序降级策略被执行次数/有序降级策略总次数；根据人工降级处置的历史案例数据验证系统有序降级策略，以及工程验证期间实际装置产生的安全风险，系统推送有序降级策略，能够被接受执行，其中覆盖典型历史降级案例不少于 10 例。

力不足，进而造成高端聚烯烃产品批次质量一致性差的突出问题，突破聚烯烃长链段分子体系热力学建模、聚烯烃链式聚合反应动力学建模、非均相聚烯烃反应器和长流程跨工序能质耦合建模等关键技术，研制烯烃—聚烯烃生产过程能质耦合工艺仿真软件，满足高端高值聚烯烃产品的石化生产智能调控需求，开展工程验证与推广应用。

2.研究内容

（1）聚烯烃长链段分子体系物性计算与热力学建模

研究长链段分子体系宏观物性与分子组成之间的关联表征技术，构建覆盖烯烃—聚烯烃原料、中间物流及产品的物性参数库；开发基于统计力学理论的 SAFT 及其变体模型，描述具有构象自由度大、显著缔合作用的高分子在高压、宽温域下的复杂相行为，建立烯烃—聚烯烃体系的物性计算模型，覆盖多组分物系相平衡、热力学性质与传递性质计算方法；研制烯烃—聚烯烃生产过程的物性计算引擎，集成物性数据、模型参数、热力学模型、传递性质模型和相平衡计算模块。

（2）聚烯烃链式聚合反应动力学建模与模拟

研究线性及支化聚烯烃分子链的数据结构表征技术，建立分子量分布、共聚物组成分布、支化分布等微观链结构的数字化表征模型；研究链式聚合体系的反应动力学建模方法，形成配位聚合、自由基聚合、可控/活性自由基聚合等反应机理的动力学模型库，并支持多活性位催化机理，以及链

转移到聚合物、偶合终止、交叉终止等复杂反应机理的微观链结构计算；开发包含概率密度函数统计、确定性机理方程求解、蒙特卡洛模拟等聚合反应动力学模拟方法，实现不同反应机理与微观链结构需求的高效计算。

（3）非均相聚烯烃反应器能质耦合建模

研究聚烯烃反应器内流动、混合与反应动力学耦合的建模方法，形成耦合非理想流动、相际扩散—传递模型的多相聚聚合过程建模技术；研究聚合反应单元能质耦合建模技术，实现聚合反应热与反应器内外传热介质的能量流协同，建立包含溶液聚合、气—固/液—固等非均相聚聚合的大型工业聚合反应器模型库；研制工业聚合过程在线模拟与自适应更新工具，实现工业规模聚烯烃反应器的模拟仿真。

（4）烯烃—聚烯烃长流程跨工序能质耦合建模

建立烯烃生产过程反应—分离—换热网络能质耦合工艺模型，开发大规模非线性方程组求解算法框架，形成能质耦合工艺模拟模型库；研究聚烯烃物料浓缩分相、脱挥净化、脱气分离等单元建模技术，形成高黏熔体与多相平衡耦合的物料—能量衡算机理模型库；研究聚烯烃反应—分离—造粒长流程、跨工序建模技术，实现烯烃—聚烯烃长流程跨工序能质耦合工艺模拟仿真。

（5）能质耦合工艺仿真软件研制及工程验证

构建支持热力学、动力学、反应和分离单元模型、长流程跨工序能质耦合模型等核心功能模块，可插接集成的烯烃

一聚烯烃生产过程能质耦合工艺仿真软件和数字孪生平台，形成标准化的数据结构、模型接口与求解调度机制，实现流程建模、模型装配、参数配置、求解执行与计算结果可视化等核心功能；在典型石化企业完成能质耦合工艺仿真与数字孪生平台软件的工程验证，实现烯烃—聚烯烃生产过程的高精度模拟仿真，实时监测物质流、能量流、性质流等关键运行参数及产品质量指标，支撑高端高值烯烃—聚烯烃生产过程的智能调控。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）烯烃—聚烯烃体系物性计算模型，包含物料纯度、密度、干点、聚合物熔融指数等工艺质量数字化模型 ≥ 100 个。

（2）烯烃—聚烯烃生产过程反应和分离单元模型，覆盖搅拌釜、固定床、流化床、热裂解反应器、分馏塔等装备，其中，分馏塔模型通过用户参与的中试测试考核。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（3）物性参数库，物料分子级表征包含分子数目 ≥ 100 个，常规宏观物性参数¹ ≥ 20 个，每种宏观物性参数计算误差² $\leq 5\%$ ；建立 CPA、SAFT、PC—SAFT 等热力学模型 ≥ 4 个，

1 宏观物性参数包括密度、黏度、热导率、扩散系数、表面张力、馏程、闪点、凝点、热值、酸值、干点、熔融指数等。

2 计算误差，指衡量模型计算值与国际先进水平模拟软件计算值之间的相对误差，计算误差= $|\text{模型计算值}-\text{国际先进水平模拟软件计算值}|/\text{国际先进水平模拟软件计算值} \times 100\%$ 。

关键参数¹计算误差 $\leq 5\%$ 。

(4) 烯烃—聚烯烃生产过程能质耦合工艺仿真软件，支持自由基聚合、可控活性自由基聚合、配位聚合动力学机理的建模与模拟；支持线性聚合物的分子量分布微观链结构模拟，最大链长 ≥ 10 万，变量规模 ≥ 100 万，线性聚合物单次模拟时间² ≤ 2 分钟；支持自由基聚合的支化分布微观链结构模拟，单次模拟时间 ≤ 30 分钟；支持非均相聚烯烃反应器能质耦合建模与模拟，其中，单个流化床反应器体积 $\geq 100\text{m}^3$ ，对聚合产物重均分子量、平均共聚组成的模拟误差³ $\leq 5\%$ ，单次模拟时间 ≤ 5 分钟。

(5) 浓缩分相、脱挥净化、脱气分离等单元模型 ≥ 3 个，关键参数的模拟误差⁴ $\leq 5\%$ 。

(6) 烯烃生产过程能质耦合工艺模拟模型库，包括石脑油裂解反应—分离—换热网络、丙烷脱氢—分离—换热网络等模型 ≥ 2 个，集成上下游生产装置物质流、能量流、性质流等多源异构数据，能质耦合工艺全流程模拟单次收敛时间 ≤ 30 分钟，产品质量的模拟误差⁵ $\leq 5\%$ ，能耗的模拟误差 $\leq 5\%$ 。

1 关键参数包括汽液、液液平衡参数、逸度、焓、熵、逸度、活度、密度、黏度、热导率、扩散系数、干点、熔融指数等。计算误差，指衡量模型计算值与国际先进水平模拟软件计算值之间的相对误差，计算误差 = $|\text{模型计算值} - \text{国际先进水平模拟软件计算值}| / \text{国际先进水平模拟软件计算值} \times 100\%$ 。

2 线性聚合物单次模拟时间基线水平 ≤ 5 分钟。

3 模拟误差，指聚合产物重均分子量、平均共聚组成等模拟计算值与工业实际数值之间的相对误差，模拟误差 = $|\text{模拟计算值} - \text{工业实际值}| / \text{工业实际值} \times 100\%$ ；基线值 $\leq 15\%$ 。

4 浓缩分相、脱挥净化、脱气分离单元模型的关键参数分别是出口聚合物固含量、挥发分、残留物含量等。模拟误差 = $|\text{模拟计算值} - \text{工业实际值}| / \text{工业实际值} \times 100\%$ ；基线值 $\leq 10\%$ 。

5 产品质量的模拟误差，指衡量关键产品流量和纯度的模拟计算值与工业实际值之间的相对误差；模拟误差 = $|\text{关键产品流量和纯度的模拟计算值} - \text{工业实际值}| / \text{工业实际值} \times 100\%$ ；能耗的模拟误差，指衡量

工程化指标:

到 2027 年 12 月，完成以下指标:

(1) 在 1 家石化企业，部署生产过程能质耦合工艺仿真软件和数字孪生平台，完成工艺流程建模工程验证；企业炼油加工规模 ≥ 1000 万吨/年，乙烯等典型生产工艺全流程级收率、能耗、性质等指标的预测精度¹ $\geq 90\%$ 。

到 2029 年 10 月，完成以下指标:

(2) 聚烯烃工艺模型对熔融指数、密度、重均分子量等关键产品质量指标的模拟误差² $\leq 5\%$ 。

(3) 烯烃—聚烯烃生产过程能质耦合工艺仿真软件技术就绪度 (TRL) ≥ 8 级，产品设计定型，经实际环境下充分使用和验证，各项指标满足使用要求，获得用户认可。

(4) 烯烃—聚烯烃生产过程能质耦合工艺仿真软件累计在不少于 2 家石化企业完成工程验证，其中，单线产能 ≥ 20 万吨/年的聚烯烃装置不少于 1 套，累计稳定运行时间 ≥ 3 个月。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

公用工程用量（包括加热蒸汽，循环冷却水，电等）模拟计算值与工业实际数据之间的相对误差，模拟误差 $=| \text{公用工程用量模拟计算值} - \text{工业实际值} | / \text{工业实际值} \times 100\%$ 。

1 关键指标包括乙烯等产品收率、关键过程单元的能耗、关键物流的流量、温度和压力、关键过程单元的操作温度和压力等性质。预测精度，指衡量关键指标模拟计算值与工业实际值之间的相对偏差，预测精度 $=1 - | \text{模拟计算值} - \text{工业实际值} | / \text{工业实际值} \times 100\%$ 。

2 模拟误差，指聚烯烃产品熔融指数、密度、重均分子量等模拟计算值与工业实际数值之间的相对误差，模拟误差 $=| \text{模拟计算值} - \text{工业实际值} | / \text{工业实际值} \times 100\%$ ；基线值 $\leq 15\%$ 。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 3.25:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具有聚烯烃生产过程模拟技术研发优势的企业，应与高等院校、科研院所、系统集成商或用户单位等联合申报，联合体具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：石化工艺仿真、聚烯烃生产、热力学建模、产品质量调控

四、中试验证平台与行业解决方案

（一）中试验证技术与平台

项目 4.1.3.3：船舶组立结构典型制造工艺与机器人装备中试平台

1.研究目标

针对船舶组立结构制造过程中工件复杂多样、工艺适配性难、连续作业强度高、装备调试周期长等问题，开展船舶组立结构制造装备中试平台总体设计、组立结构制造装备测试与评价等技术研究，构建船舶组立典型制造工艺与机器人

装备验证场景和中试平台，开展组立结构制造工艺与装备测试及验证，形成面向船舶组立制造典型工艺验证和熟化、国产机器人应用验证等中试验证公共服务能力。

2.研究内容

（1）船舶组立结构制造装备中试平台总体设计

针对船舶组立结构切割、打磨、成型、焊接等典型工艺，构建船舶组立结构制造装备测评体系，支持组立结构制造装备功能、性能、工艺适配性、服役可靠性等关键指标测评，设计包含装备接入、测试方案生成、任务调度、数据采集分析与报告输出的框架及分布式跨域中试系统方案，统一机械、电气、通信及数据接口，实现组立结构制造装备的快速接入与物理布局适配。

（2）虚实融合的组立结构制造装备仿真测试技术

开展船舶组立结构制造装备干涉分析与软硬件兼容适配测试、数据映射与实时同步、数据驱动的被测装备性能量化评估等技术研究，构建虚实融合的组立结构制造装备仿真测试系统，实现切割轨迹、焊接收缩变形等关键性能虚拟验证，实现制造装备功能性能与适配性快速测评。

（3）组立结构制造装备测试与评价技术

开展组立结构制造装备精度保持性、服役可靠性等性能测试与评价技术研究，研发面向切割、打磨、成型、焊接等工艺的组立结构制造装备测试与验证工具集，研究在位高精度多物理量融合测量方法，实现组立结构制造装备精度保持

性、服役可靠性测试。

（4）组立结构制造工艺测评技术研究

构建组立制造工艺的标准测试用例库及被测装备工艺数据接入规范。研究基于加工质量的组立制造工艺优化和装备性能验证及优化，实现切割精度、打磨轮廓精度、成型偏差、焊缝质量等加工质量量化测评。研究船舶设计图纸自主解析、多机器人协同自主编程等技术，实现中试平台多类型设计数据输入与多机器人协同作业下的快速工艺测试。

（5）组立结构制造工艺与机器人装备中试平台构建及验证

构建典型工艺的组立结构制造装备中试场景，开展中试平台软硬件集成及匹配性、制造装备测试、中试数据分析与标准等研究，形成船舶组立结构典型制造工艺与机器人装备中试标准。对不少于 3 种船舶组立结构制造装备开展中试验证。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）船舶组立结构制造装备中试验证场景 ≥ 1 个。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（2）船舶组立结构制造装备中试验证场景累计 ≥ 4 个，包括组立结构切割、打磨、成型、焊接等典型工艺。

(3) 多场景组立结构制造装备测试和验证工具 ≥ 10 项, 支持切割速度、曲板成型速度、焊接速度、工件识别定位精度、有效作业空间等关键指标测试验证。

(4) 中试平台, 支持被测装备主要运动部件及配套外部轴连续运行精度保持性测试, 连续测试时长不低于 24h。

(5) 中试平台, 具备船舶组立结构切割、打磨、成型、焊接等典型工艺测评能力, 支持不少于 3 种主流船舶设计软件的设计数据转换, 其中至少包括国外主流船舶设计软件 1 款和国产船舶设计软件 1 款; 支持不少于 4 台机器人协同作业场景下的工艺快速测试。

(6) 中试平台, 具备船舶组立结构制造精度检测能力, 支持切割精度优于 $\pm 0.05\text{mm}$ 、打磨表面粗糙度优于 $0.1\mu\text{m}$ 、曲板成型轮廓型线匹配测量精度优于 $\pm 0.1\text{mm}$ 、焊缝几何尺寸测量精度优于 $\pm 0.05\text{mm}$ 测试验证; 支持机器人焊接速度达到 10m/min 测试验证。

工程化指标:

到 2029 年 10 月, 完成以下指标:

(1) 形成船舶组立结构典型制造工艺与机器人装备相关测试用例 ≥ 7 个、测试大纲 ≥ 4 项。

(2) 中试平台技术就绪度 (TRL) ≥ 8 级, 经实际环境下充分应用与验证, 累计运行时间 ≥ 3 个月, 获得用户认可。

(3) 为船舶组立结构制造装备提供开发咨询、中试测试、性能分析改进等服务, 项目期内, 经本平台完成熟化验

证，具备船舶场景推广应用条件的机器人总数不少于 30 台（套），测评关节型机器人、桁架式机器人、协作机器人等机器人种类不少于 3 种。

（4）研制船舶组立结构典型制造工艺与机器人装备相关国家/行业标准 ≥ 2 项（通过标准立项）。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 3.5:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事后补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具备船舶制造领域机器人加工工艺和装备研发优势的科研院所或企业，具备面向全船舶行业持续运营中试平台并提供第三方测试公共服务的能力，联合单位应包含船舶总装厂、国产工业机器人企业、高校/科研院所/船级社/船舶行业协会，申报联合体应具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家，下设课题不超过 5 个。

关键词：船舶组立制造工艺、机器人装备、仿真测试、中试平台

项目 4.1.3.4：新能源汽车轻量化制造连接工艺和关键设备中试平台

1.研究目标

针对新能源汽车轻量化制造连接工艺和工业机器人、工艺设备等国产关键设备应用壁垒与中试验证环境缺失、评价体系不完善等瓶颈问题，开展中试验证共性技术、连接工艺和关键设备的评价方法、场景搭建技术等研究，突破“工艺—设备—系统”一体化协同验证技术，搭建焊接、铆接、胶接、螺接等工艺和关键设备的中试平台，形成中试验证公共服务能力，推动连接工艺和关键设备迭代应用。

2.研究内容

（1）新能源汽车轻量化制造连接工艺和关键设备中试验证共性技术

研究面向中试验证的系列化工装、夹具快速切换技术，满足连接工艺及设备换型需求；研究异构设备多协议兼容适配技术，实现主流工业协议全覆盖，满足跨品牌设备互联互通；研究数字孪生建模、虚拟调试验证技术，满足连接工艺与关键设备虚拟验证需求；研究真实工况下“工艺—设备—系统”协同验证技术，形成新能源汽车轻量化制造连接工艺和关键设备中试平台建设方案。

（2）新能源汽车轻量化制造连接工艺质量验证与评价

研究钢、铝、碳纤维异种材料激光点焊、钢铝点焊、压铸件螺接等接头力学性能、尺寸精度、失效模式分析与评价

方法；研究多工况适配的工艺参数、缺陷定义与量化判定阈值，建立工艺验证标准；研究环境耐久、产线适配及成本评价方法，形成量产工艺控制标准；构建连接质量数字化评价模型，开发工艺质量数字化验证工具；研究多材料连接工艺柔性适配、全要素工况复现、模块化快速迭代等中试验证场景构建技术，实现在真实生产场景下连接工艺定型与量产适配验证。

（3）工业机器人与工艺设备的中试验证与评价

研究工业机器人整机性能基准及高效测试验证方法，搭建关键指标测试系统；研究机器人与工艺设备协同作业精度退化规律、建模及等效载荷可靠性评价方法；构建工艺参数、质量、设备与机器人性能关联模型；开发复杂工况下焊装、大负载、位姿快速适配等中试验证场景构建技术，研制智能验证与测评工具，支持真实工况下机器人负载能力、轨迹精度、平均无故障时间、机器人末端抖动幅度及收敛时长等指标验证。

（4）新能源汽车轻量化制造连接工艺和关键设备的中试平台搭建与服务

基于轻量化制造连接工艺、工业机器人和工艺设备验证评价方法及工具，运用中试验证场景构建技术、虚拟调试验证技术，搭建中试平台，研究切换节拍等核心指标测试验证方法，开展连接工艺、关键设备的整线联动对标验证，形成“测评—反馈—优化”闭环的行业中试验证公共服务能力，

推动轻量化制造连接工艺、国产关键设备迭代熟化与应用。

3.考核指标

技术指标:

到 2027 年 12 月，完成以下指标:

(1) 工业机器人整机性能关键指标测试系统，覆盖驱动链利用效率、驱动链持续运转性、动力学前馈准确度、机器人插补精度等不少于 4 项关键指标测试。

(2) 工艺质量数字化验证工具 1 个，支持力学性能、质量稳定性等 2 项以上核心指标验证。

(3) 智能测评与验证工具 1 个，支持工业机器人定位与轨迹精度、真实转运速度、路径速度无关性、本体运行温度、相同任务能耗、大负荷工艺应用可靠性、工艺质量稳定性、工艺应用安全性等 8 项以上核心指标验证。

到 2029 年 10 月，完成以下指标:

(4) 工业机器人中试验证场景 ≥ 5 个，涵盖焊装加工、大负载作业、位姿快速自适应适配等核心工况。

(5) 连接工艺和关键设备综合中试验证场景 ≥ 5 个，覆盖多材料连接工艺机理分析、连接质量测评、机器人柔性作业调试、产线级全流程运行验证、虚实一体化数字孪生等方面验证。

(6) 中试平台，工装切换时间 $\leq 3\text{min}$ ，兼容主流通信协议数量不少于 50 种；具备验证工业机器人与工艺设备的虚拟调试能力，虚实数据同步时延 $\leq 1.5\text{s}$ ，孪生仿真一致性

≥95%，支持工艺仿真、节拍偏差、空间干涉、工艺适配率等不少于 4 项指标验证；支持在焊接、铆接、胶接、螺接等 4 类新能源汽车产线典型环境下的虚实协同验证，支持连续运行精度保持性测试，运行位置测试精度优于±0.1mm，连续测量时间≥12h，实现秒级焊装切换。

工程化指标：

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（1）中试平台技术就绪度（TRL）≥8 级，经实际环境下充分应用与验证，累计运行时间≥3 个月，获得客户认可。

（2）依托中试平台，完成工业机器人、激光点焊工艺设备等不少于 5 类设备且每类设备不少于 3 种规格（如负载、性能、功能等）的中试验证；为不少于 20 家新能源汽车装备产业链企业提供轻量化制造连接工艺和关键设备中试验证服务。

（3）建立覆盖激光点焊、钢铝点焊、压铸件螺接等不少于 5 种轻量化制造连接工艺的知识库，包含参数包、故障树、解决方案案例等≥500 个。

（4）研制新能源汽车轻量化制造连接工艺及关键设备中试相关国家/行业标准≥2 项（通过标准立项）。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 3.5:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具备新能源汽车焊装产线集成与中试验证技术优势的企业或科研院所，应与新能源汽车产线轻量化制造连接工艺与关键设备相关企业、科研院所、高等院校及整车企业等联合申报，申报联合体应具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：连接工艺、机器人与工艺设备、中试平台

项目 4.1.3.5：电子产品高精密装配机器人单元中试平台

1.研究目标

智能终端、汽车电子、仪器仪表等电子产品高精密装配过程面临狭小作业空间下定位精度高、装配结构复杂等挑战，由国产机器人、末端执行器、视觉系统等构成的机器人单元，在电子组件配合、锁付、柔性线缆接插、微量点胶等典型场景中，还存在装配性能不稳定、工艺适配性差、优化迭代能力弱等短板。本项目研究电子产品高精密装配机器人单元性能、性能保持性、工艺适配性指标体系，开发测试与验证方法及工具集，研发典型工艺缺陷根因分析模型，构建多场景柔性高精密中试验证线，形成可灵活配置的机器人单

元中试平台，提供“性能评价—工艺适配性验证—缺陷诊断—优化方案输出”的闭环中试验证服务，提升国产机器人单元在电子产品高精密装配中的应用水平。

2.研究内容

（1）电子产品高精密装配机器人单元性能测试与保持性评价

建立运动轨迹、作业质量、力位控制等机器人单元多维性能指标体系，研究关键性能的协同感知与测试方法，实现定位精度、重复定位精度、装配轨迹精度、力/力矩/扭矩控制精度及人机交互操作精度等性能测评，搭建高精度性能综合测试系统；研究机器人单元性能保持性评价模型；开发关键性能测试和性能保持性评价工具集，支持面向典型场景的性能指标和测试用例自适应。

（2）电子产品高精密装配机器人单元工艺适配性验证

研究融合几何精度、连接质量、作业稳定性等高精密装配工艺适配能力表征方法与评价体系，研究基于性能保持性、工艺要求及公差边界的工艺适配性评价方法，开发工艺适配性验证工具集；建立机器人单元性能衰减演化模型，开发可靠性评价工具集，支撑典型场景下机器人单元的工艺适配性验证。

（3）电子产品高精密装配机器人单元与产线工艺流程适配性验证

针对电子产品狭小空间高精密装配国产机器人单元与

产线工艺流程适配性验证需求，搭建多工况适配、可重构的高精密装配中试验证线；研究多机器人单元互操作能力、协同控制等工艺流程适配性评测方法与工具，实现多工序协同、节拍约束和物流扰动等工况下工艺流程适配性与可靠性验证。

（4）电子产品高精密装配机器人单元典型缺陷问题溯源

研究结构稳定性和视觉坐标漂移对定位偏差的误差传递特性、“视—力—位”协同对精密装配质量的影响机制，以及“速度—流量—轨迹”耦合对点胶质量的调控机制；针对典型工艺缺陷，建立多源数据融合的典型工艺缺陷根因分析模型，开发工艺缺陷智能识别分析工具，形成技术问题诊断、缺陷因素定位和改进策略输出的综合能力。

（5）电子产品高精密装配机器人单元中试平台搭建与服务

搭建机器人单元中试验证平台，集成关键性能测试和性能保持性评价、工艺适配性验证、可靠性评价、工艺流程适配性评测、工艺缺陷智能识别分析等工具，依托中试验证产线与高精度性能综合测试系统，形成机器人单元“性能评价—工艺适配性验证—缺陷诊断—优化输出”中试验证能力；围绕典型电子产品制造领域，针对高精密装配等典型场景，开展国产机器人单元的中试验证。

3.考核指标

技术指标:

到 2027 年 12 月完成以下指标:

(1) 多维性能指标体系, 涵盖运动轨迹、作业质量、力位控制等性能指标 ≥ 35 个。

(2) 工艺适配性评价指标体系, 涵盖几何精度、连接质量、作业稳定性等指标 ≥ 30 个。

到 2029 年 10 月, 完成以下指标:

(3) 高精度性能综合测试系统, 具备检测能力: 视觉定位检测精度优于 $\pm 0.05\text{mm}$ 、视觉重复定位检测精度优于 $\pm 0.05\text{mm}$; 轨迹检测精度优于 $\pm 0.01\text{mm}$; 力矩/扭矩检测精度优于 $\pm 0.01\text{N}\cdot\text{m}$ 、力控检测精度优于 $\pm 0.1\text{N}$; 人机交互操作检测精度支持响应时间 $\leq 0.1\text{s}$, 识别准确率 $\geq 99\%$; 性能测试与性能保持性评价工具集 ≥ 4 个, 支持面向典型场景评价工具和测试用例的自适应。

(4) 工艺适配性验证工具集 ≥ 5 个和可靠性评价工具集 ≥ 5 个, 评价用例 ≥ 8 个; 性能衰减演化模型 ≥ 20 个, 性能衰减预测准确率 $\geq 90\%$ 。

(5) 中试验证线 1 条, 集成典型装配工艺场景 ≥ 4 个, 多机器人单元工艺流程适配性评测工具 ≥ 5 个; 验证机器人单元接入验证线重构时间 $\leq 2\text{h}$ 。

(6) 工艺缺陷智能识别分析工具集 ≥ 5 个, 集成根因分析模型 ≥ 10 个, 缺陷识别准确率 $\geq 95\%$ 。

(7) 机器人单元中试平台 1 个, 覆盖配合、锁付、柔

性线缆接插、微量点胶等典型工艺验证场景 ≥ 4 个，集成中试验证线、高精度性能综合测试系统，支持定位精度、重复定位精度、装配轨迹精度、力/力矩控制精度及人机交互操作精度等不少于6类性能测评，具备性能保持性评价、工艺适配性验证、问题诊断、缺陷定位和改进策略输出等中试能力。

工程化指标:

到2029年10月，完成以下指标:

(1) 中试平台技术就绪度(TRL) ≥ 8 级，经实际环境下充分应用与验证，累计运行时间 ≥ 3 个月，获得客户认可。

(2) 依托中试验证线，针对不少于2类电子产品，对不少于4类典型工艺的机器人单元开展工艺流程适配性验证，产线CPK值(过程能力指数) ≥ 1.33 ，通过验证的国产机器人单元 ≥ 10 个。

(3) 依托中试平台，在智能终端、汽车电子、仪器仪表等不少于3类电子产品制造领域，开展国产机器人单元中试验证，服务制造商、集成商和用户 ≥ 15 家，国产机器人单元 ≥ 25 台(套)，国产机器人品类 ≥ 10 种。

(4) 研制机器人单元中试验证相关国家/行业标准 ≥ 2 项(通过标准立项)。

4.实施期限

2026年11月—2029年10月。

5.项目设置及经费需求

拟支持1个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：重大共性关键技术。

其他来源资金（含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 3.5:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事前补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具有第三方属性且具备电子行业机器人单元工艺与检测技术研究优势的科研院所、高等院校、企业等，应与机器人单元制造企业、用户企业等联合申报，申报联合体应具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：高精密装配、性能评测、工艺适配、溯源分析、中试验证

（二）高速重载列车多学科协同设计与工艺集成解决方案

项目 4.2.2.1：轨道交通列车机电系统设计制造一体化系统研制与示范工程

1.研究目标

轨道交通列车机电系统包括牵引传动系统、制动系统、列车控制网络系统等，涵盖列车九大关键系统中四类，是保障列车安全、高效运行的核心部件。高速列车百万公里故障的 50%—60%为机电系统故障，多为耦合工况验证不充分、潜在缺陷检测有盲区、质量关联追溯未贯通等问题。为满足

轨道交通列车机电系统低缺陷制造需求，解决机电系统“机—电—热—磁”耦合工况设计复杂度高、设计与制造环节集成度低、制造过程缺陷实时检测难等难题，项目突破多学科协同设计、“设计—制造”协同、智能工艺设计等关键技术，开展多学科协同设计优化、“设计—工艺—试验—制造”全过程数据融合、模型驱动的“设计—制造”协同与智能工艺设计等技术研究，构建高速、重载列车机电系统多学科协同设计与工艺集成解决方案，研制机电系统设计制造一体化系统，提高机电系统多学科协同设计与工艺集成能力，满足控制装置、动力模块等核心部件的全数字化研制需求，支持跨企业、跨地域、跨国界的产品开发协同与全生命周期管理，实现机电系统故障率从 0.34 件/百万公里降低至 0.12 件/百万公里。

2. 研究内容

（1）轨道交通列车机电系统多学科协同设计与优化技术

面向轨道交通列车机电系统在极端场景与异常工况保持全生命周期高可靠运行的需求，建立多物理场统一建模方法和关键参数跨学科传递链，研究产品全生命周期管理集成架构技术、多模态数据融合分析技术、基于模型驱动的“机—电—热—磁”多学科协同仿真设计及数字化试验技术，开发产品模型库、材料选型库、参数化模型库，研制支持多物理场分析与智能优化的机电系统多学科仿真与优化软件工

具，具备面向行业提供机电软多学科协同设计和全场景数字化试验的能力。

（2）机电系统“设计—工艺—试验—制造”全过程数据与模型融合技术

针对机电系统整机与部件（电路板、变流模块）设计制造协同弱、“设计—工艺—试验—制造”全过程以及跨产线跨工序数据与模型集成难、质量相关数据碎片化等问题，研究语义互操作技术、多源异构及多模态数据融合技术、产品性能参数与工艺过程参数关联建模技术，开发全流程数据交互管控软件工具，具备面向行业提供“产品设计—工艺设计—生产制造”数据集成服务功能，实现从产品设计、工艺设计、试验到生产制造全过程数据交互与协同。

（3）模型驱动的“设计—制造”协同与智能工艺设计技术

针对设计与制造集成度低、可制造性验证不充分、生产准备周期长等问题，研究基于 MBD 的设计工艺制造一体化协同、可制造性设计及评估分析、基于 AI 的装配工艺路径规划设计等技术，开发高速与重载列车及其关键部件的数字孪生模型、加工装配工艺知识库，研制模型驱动的产品设计与工艺协同优化、可制造性设计与分析评估、智能工艺设计与运行管控、三维建模与工艺自动检查/验证等专用工具。

（4）轨道交通列车机电系统多品种变批量生产管控技术

针对轨道交通列车机电系统多品种变批量订单模式下，长供应链协同难、多产线并行调度复杂等问题，研究支持供应链协同的制造运营管理软件技术，研究基于物流仿真的产线并行协同技术，研究多约束产线调度协同优化、智能指导与智能诊断等技术，研制支持“板级—模块级—系统级”全组装链批量定制的动态排产调度软件，研制柔性化工装、人机协作系统，实现多品种变批量生产模式下的高效协同与质量精准控制。

（5）轨道交通列车机电系统的设计制造一体化系统研制及应用

开发机电系统设计制造协同研发平台，集成应用机电系统多学科仿真与优化软件、全流程数据交互管控软件工具、产品设计与工艺协同优化专用工具、动态排产调度软件；研发基于多模态数据的智能生产检测装置，部署协同研发平台，搭建机电系统全组装链示范产线，在 CR450 高速列车、重载机车机电系统研制过程开展应用验证，支持设计制造全流程数据链贯通，实现研发设计、仿真优化、工艺生成、生产管控的高效协同。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）机电系统多学科仿真与优化软件 1 套，支持多物理场复杂工况下开展仿真与优化，涵盖应力场、热场、电场、

磁场等不少于 4 种物理场，支持力学性能（刚度、强度、振动特性等）、电磁性能（效率、损耗等）、热性能（温度）等不少于 3 类目标函数，产品数字化试验准确性¹提升 $\geq 20\%$ 。

（2）全流程数据交互管控软件工具 1 套，实现从产品设计、工艺设计、工艺生成到工位加工的数据一体化协同，产品制造关键质量数据贯通率²不低于 90%。

（3）产品设计与工艺协同优化、可制造性设计与分析评估、智能工艺设计与运行管控、三维建模与工艺自动检查/验证等专用工具，集成产品模型库、材料选型库、参数化模型库、工艺知识库，其中工艺知识库至少覆盖加工、焊接、装配 3 类主要制造工艺，产品模型库、材料选型库、参数化模型库、工艺知识库的数据总条目 ≥ 10 万条，可制造性设计符合度³达到 95%以上、工艺编制效率⁴提高 30%。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（4）动态排产调度软件 1 套，支持机电系统“板级—模块级—系统级”等 3 类数字化工作包的动态排产调度，系

1 当前行业基线约为 50%，产品数字化试验准确性 $= (1 - \text{数字化试验结果与实测结果的相对偏差}) \times 100\%$ ，实测结果是指现场或实验室的实际测量结果。

2 产品制造关键质量数据贯通率 $= (\text{实现全流程贯通流转的产品关键质量参数条目数} / \text{产品关键质量参数总条目数}) \times 100\%$ 。

3 可制造性设计符合度，是量化设计方案匹配现有制造工艺能力程度，可制造性设计符合度 $= (\text{符合可制造性设计规则的检查项数量} / \text{可制造性设计检查项总数量}) \times 100\%$ 。

4 工艺编制效率，指单位人力、单位时间内完成的合格工艺设计文件产出量，是衡量工程师编制工艺设计文件（包括工艺路线、工序挂资源、工序作业指导书等）的效率，工艺编制效率 $= \text{整套工艺设计文件产出量} / \text{工艺设计文件编制耗人耗时}$ ，单位为套/人·小时。以主变流器为例，当前行业基线为每单位人·小时产出整套工艺设计文件的 1/52（即，完成整套文件需耗 52 人·小时）。

统级开工齐套率¹≥90%。研制柔性化工装 1 套（包括单板装配柔性供料器、模块装配柔性夹具、系统装配柔性助力工装），工装通用化率²≥95%。

（5）机电系统设计制造协同研发平台 1 套，覆盖产品设计、工艺设计、生产制造等环节，实现 CAD、CAE、CAM、PLM、CAPP、ERP、APS、MOM 等不少于 8 个子系统的一体化集成，支持机电系统生产线实现工艺和物料集成管理、计划与物流柔性调度、供应链全流程可视化跟踪。

工程化指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）协同项目 1.1.1.5 “高承载结构件焊接成型工艺仿真软件研发及验证”软件成果，建设机电系统控制装置/动力模块示范产线不少于 2 条，在 CR450 高速、重载列车机电系统产线落地应用。

（2）高速列车机电系统故障率³从 0.34 件/百万公里降低至 0.12 件/百万公里。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（3）集成机电系统设计制造协同研发平台、智能生产检测装置，建设涵盖 CR450 高速、重载列车机电系统“板级—模块级—系统级”全组装链示范产线不少于 5 条，实现 20

1 系统级开工齐套率=（按期完全齐套、具备开工条件的机电系统数量/机电系统计划开工总数量）×100%，系统级开工齐套的前置条件是物料、单板、模块需定时、定点、定量齐套到位。

2 工装通用化率=（产线工位上柔性化工装覆盖的产品图号数/全部产品图号总数）×100%。

3 百万公里故障率，指每百万公里运行距离内发生故障的件数。

种以上产品的柔性混流生产，智能生产检测装置支持 15 种以上生产异常检测，订单按时交货率¹提升≥10%。

（4）研制相关国家/行业标准≥2 项（通过标准立项）。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用面向中国中车集团有限公司定向择优方式。

所属创新分类：应用示范研究。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 3.5:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事后补助。

6.申报条件

牵头申报单位应为具备轨道交通列车机电系统设计制造能力的企业，并取得中国中车集团有限公司书面授权作为本项目牵头申报单位。牵头申报单位应与国内相关优势企业、科研院所、高等院校等联合申报，申报联合体应具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：低缺陷制造，多物理场建模，参数关联建模，多约束调度

¹ 订单按时交货率=（按时交货的订单数量/总的订单数量）×100%，当前水平 80%。

（三）新能源汽车高效柔性制造系统解决方案与示范工程

项目 4.3.2.3：新能源汽车跨平台车型共线制造柔性焊装系统研制与示范工程

1.研究目标

针对新能源汽车行业车型迭代速度快、生命周期短带来的跨平台车型（轿车、SUV、MPV 等）共线制造需求激增，聚焦焊装产线跨平台车型兼容性差、改造成本高等痛点，开展跨平台车型共线制造的工艺规范与技术体系、产线快速设计研究，突破工艺解耦、产线重构与节拍自适应优化等关键技术，研制支持快速换型的柔性工装、智能装备及柔性制造单元，开发焊装产线生成式快速设计系统、智能生产管控系统，构建兼顾高节拍与高柔性的焊装系统解决方案，在国内整车企业完成工程应用，实现跨平台车型的高效共线生产。

2.研究内容

（1）跨平台车型共线生产的工艺规范与技术体系

针对新能源汽车跨平台车型共线生产需求，研究多结构、多工艺共线制造工艺基准，制定多车型共线工位资源配置、工艺参数区间、车型切换流程等标准规范，明确跨平台车型共线生产的技术边界与适配要求，实现跨平台车型柔性适配。研究兼顾高柔性与高效率的生产模式及工艺方案，实现按需高节拍生产。

（2）柔性焊装的工装夹具生成式设计技术

研究“数据驱动—智能决策”融合的柔性焊装工装夹具设计方法，以车身产品数模、线体指标等为核心依据，开展多维度制造知识推理与智能决策，开发焊装工装夹具生产式设计系统，实现工装夹具方案的快速生成及仿真调试、定位方案与图纸的自动生成，满足新能源汽车跨平台车型快速量产的行业需求。

（3）支持共线生产的柔性工装

研发适配跨平台车型生产的夹具、抓手、台车等系列化柔性工装。基于车身尺寸关键控制点分析，建立产品形态规律化映射规则，研发可自适应调节的柔性夹具，实现不同车型车身定位点、夹持行程的自动适配；同步开发轻量化柔性抓手，适配多规格车身零部件抓取与搬运作业，具备精准夹持、自适应贴合能力；研发模块化柔性物流台车，满足多品类工件缓存、转运与工位流转需求。

（4）支持共线生产的智能装备及柔性制造单元

开发智能物流装备及智能机器人，实现无序、多品类的物料输送、智能上下料；研究支持多工艺、多车型共线生产的全线工位智能调度算法；研制适配共线生产的柔性制造单元，具备焊接、拧紧、涂胶、视觉等功能，实现钢、铝、复合材料等多材料和点焊、铆接、胶接、拧紧、激光焊接等冷热连接工艺的自由切换与灵活组合。

（5）跨平台车型共线制造焊装产线集成开发及应用

基于跨平台车型共线生产工艺规范及技术体系，集成支

持跨平台车型共线生产的柔性工装、智能装备及柔性制造单元，开发自主调优智能生产管控系统，实现跨平台车型共线制造工艺路线自主规划、工序智能调度、工位资源动态匹配、节拍自适应优化，构建跨平台车型共线制造柔性焊装系统解决方案，实现在新能源汽车行业的工程化应用。

3.考核指标

技术指标：

到 2027 年 12 月，完成以下指标：

（1）工装夹具自动生成式设计，覆盖率¹≥30%，采纳率≥50%。

（2）柔性夹具、柔性抓手切换时间≤10s，柔性台车切换时间≤45s。

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

（3）车型共线制造平台，可兼容轿车、SUV、MPV 等车身，覆盖最大长度车身 6000mm；车身材料可兼容全钢、钢铝混合、全铝及复合材料等类型。

（4）工装夹具自动生成式设计，覆盖率≥50%，采纳率≥85%。

（5）柔性夹具、柔性抓手切换时间≤6s，柔性台车切换时间≤32s，工位整体切换时间≤10min，线体整体切换时间≤30min。

1 覆盖率=夹具自动生成设计出的部装数量/工装夹具部装总数量×100%。

(6) 典型柔性制造单元，支持不少于 3 种连接工艺的自动重构，同时兼容冷热连接，包含且不限于拧紧、胶接、自冲铆、钢铝点焊、CMT 弧焊等工艺。

(7) 拧紧系统误差优于 $\pm 1.5\text{mm}$ ；激光飞行焊接位置精度优于 $\pm 0.5\text{mm}$ ，单点焊接时间 $\leq 0.3\text{s}$ ；激光飞行焊同步输送系统速度误差优于 $\pm 2\%$ ，速度 $\geq 0.2\text{m/s}$ ，加速度 $\geq 2\text{m/s}^2$ 。

(8) 智能生产管控系统，自适应优化生产节拍整线节拍达成率 $\geq 99\%$ ，自主感知生产过程中订单变更、工艺调整、机器故障、计划偏离等动态扰动因素 ≥ 4 项，具备 60s 内自主决策优化调整生产能力，运维策略智能生成准确率 $\geq 90\%$ 。

工程化指标：

到 2029 年 10 月，完成以下指标：

(1) 研制支持跨平台车型共线制造的新能源汽车焊装生产线 1 条。在不少于 6 款车型¹共线下快速换型生产，综合效率 OEE $\geq 85\%$ ，其中焊装分总成产线生产节拍 $\leq 30\text{s}$ 。

(2) 工位复用率² $\geq 98\%$ 。

(3) 整线柔性工装（含夹具、抓手、台车）应用不少于 60 套；整线国产工业机器人不少于 50 台；整线新型智能机器人（含双臂、多臂、轮式、类人形机器人）应用不少于 20 台。

(4) 机器人焊接可重构柔性制造单元 ≥ 10 套。

¹ 换代车型或跨平台车型视为不同款车型，年度小改款车型视为同 1 款车型。

² 复用率=兼容 6 平台车型工位数/整线工位数 $\times 100\%$ 。

4.实施期限

2026 年 11 月—2029 年 10 月。

5.项目设置及经费需求

拟支持 1 个项目，采用公开竞争方式。

所属创新分类：应用示范研究。

其他来源资金（包含地方财政资金、单位自筹资金、其他渠道资金）与中央财政资金比例原则上不低于 3.5:1。

中央财政投入支持方式：事前立项事后补助。

6.申报条件

牵头单位应为汽车整车企业，牵头单位应与焊装产线设计集成制造企业、基础装备及软件开发企业、高校院所等联合申报，申报联合体应具备较强的专业研发团队，以及完善的试验、研究和开发条件。原则上申报项目的参与单位不超过 15 家、下设课题不超过 5 个。

关键词：跨平台车型、共线制造、柔性焊装、超高节拍