

# 关于发布未来工业互联网基础理论与关键技术 重大研究计划 2024 年度项目指南的通告

国科金发计〔2024〕167 号

国家自然科学基金委员会现发布未来工业互联网基础理论与关键技术重大研究计划 2024 年度项目指南，请申请人及依托单位按项目指南所述要求和注意事项申请。

国家自然科学基金委员会

2024 年 8 月 29 日

## 未来工业互联网基础理论与关键技术 重大研究计划 2024 年度项目指南

未来工业互联网是新一代信息通信网络技术与工业制造深度融合的全新工业生态、关键基础设施和新型应用模式，通过人机物的安全可靠智联，实现生产全要素、全产业链、全价值链的全面连接，推动制造业生产方式和企业形态根本性变革，形成全新的工业生产制造和服务体系，显著提升制造业数字化、网络化、智能化发展水平。

本重大研究计划瞄准工业互联网国家重大战略需求，围绕未来工业互联网的重大核心科学问题，打通未来工业互联网基础研究、原始创新的“最先

一公里”和科技成果转化、产业市场化应用的“最后一公里”，为我国工业互联网发展水平走在国际前列奠定理论和技术基础。

## **一、科学目标**

瞄准工业互联网国家重大战略需求，把握未来工业互联网发展趋势，创新工业互联网全要素互联的结构化组织机理、生产制造流程的柔性构造机制、产业链与价值链的网络化调控原理等基础理论与方法，突破一批核心关键技术，完成三个以上工业制造典型场景的集成示范验证，形成若干重大基础性原创成果，培养一批有国际影响力的人才和团队，推动工业互联网应用与服务的范式变革，为构建要素互联结构化、生产制造流程化、工业网络体系化的产业新生态奠定理论和技术基础，引领未来工业互联网的科学发展。

## **二、核心科学问题**

本重大研究计划针对未来工业互联网生产要素互联的时空关系演变及调控规律这一核心问题，围绕以下三个科学问题展开研究。

### **(一) 全要素互联的结构化组织机理。**

针对未来工业互联网人机物全要素安全可靠互联的系统复杂性难题，重点解决如何刻画未来工业互联网全要素互联的联接关系与结构关系，如何度量其复杂性并构建相互控制关系等问题。重点研究未来工业互联网按需联接的本征模型与调控机理、生产要素数据多维表征及结构化组织机理、全要素互联的系统熵理论。

### **(二) 生产制造流程的柔性构造理论与方法。**

面向未来工业互联网柔性化制造全流程的流畅性与稳定性要求，重点解决如何精准刻画未来工业互联网生产链制造全流程中的误差传播、有效识别生产流程的脆弱性、定量评估生产线重构的收敛性等问题。重点研究未来工业互联网柔性化制造全流程的容差分析与传播模型、全流程稳定性构建方法、全流程重构的理论与方法。

### （三）产业链与价值链的网络化调控原理。

针对未来工业互联网生产制造的全产业链、全价值链耦合与复杂调控关系，重点解决如何从效率角度建立网络化产业链模型、从效用角度建立网络化价值链模型，如何实现跨产业链与价值链联动的多目标调控优化等问题。重点研究未来工业互联网生产制造的全产业链构建模型、全价值链构建模型、跨链耦合的网络化调控原理。

## 三、2024 年度重点资助研究方向

### （一）培育项目。

围绕上述科学问题，以总体科学目标为牵引，2024 年度对于探索性强、选题新颖、前期研究基础较好、产学研用相结合的申请项目，将以培育项目方式予以资助，建议研究内容围绕以下方向：

#### 1. 面向流程行业的虚实融合数字孪生建模与优化技术。

针对工业过程多相多场耦合、多目标冲突导致的复杂反应气氛解析难、优化决策难等问题，研究大型流程生产装备的相场耦合机制，建立面向工业互联网的复杂耦合反应体系的数字孪生模型；研究数字孪生模型和装备运行特征虚实融合的运行工况识别方法、多冲突目标的高效优化决策方法，支持

宏观与微观协同的动态反应气氛精准控制；结合典型场景开展相关科学问题与关键技术演示验证。

## 2. 面向端侧异构操作系统的微服务架构与关键技术。

研究面向工业互联网环境下异构多处理器端侧硬件和异构操作系统的轻量化微服务架构；研究端侧应用以微服务方式快速发布的关键技术，以及工业互联网感知、互联、认知、控制、存储等微服务的动态组合方法；研究实时应用和 AI 应用的微服务化技术，支持现有实时应用的微服务化移植与开发，支持在端侧硬件上部署 AI 微服务并进行实时分析，保障微服务化后的应用独立部署与混合部署的实时性要求。在不少于 5 种开源异构操作系统中进行应用验证。

## 3. 工业互联网多模态学习与推理方法。

针对工业互联网典型场景，研究面向多源异构传感器的多模态学习方法与匹配算法，实现异步跨模态数据的精准对齐；研究生产过程中在模态缺失条件下的信息融合表达与重构方法，支持异构模态信息不完备条件下的智能决策；研究模态样本不均衡情况下的多模态推理方法，支持异构数据源小样本情况下的跨域、跨模态关联推理；结合典型场景开展相关科学问题与关键技术演示验证。

## (二) 重点支持项目。

围绕核心科学问题，以总体科学目标为牵引，2024 年对于前期研究成果积累较好、对总体目标在理论和关键技术上有较大贡献、具备产学研用合作基础的申请项目，将以重点支持项目方式予以资助，重点支持方向如下：

### 1. 面向智能制造的行业大模型架构与算法。

研究面向智能制造的行业大模型数据制备方法，探索领域知识驱动的高保真数据构造生成算法，建立针对多模态工业数据集的制备及质量评价理论；面向工业互联网智能制造大模型的云边高效训练与边端高效推理，探索分布式协同训练与推理机制，创新分布式模型训练与推理一体化的行业大模型架构与算法；研究针对工业模型机理约束下的大模型训练方法，探索模型推理结果的稳定生成方法；针对智能制造的典型应用场景，开展相关科学问题与关键技术的演示验证，与现有技术相比性能指标有显著提升。

### 2. 工业互联网跨链数据融合与高效流通机理。

针对工业互联网跨产业链、跨价值链数据要素流通不畅、数据开放共享难等问题，研究跨链企业间业务数据信息融合的理论及建模方法，实现跨链企业数据信息的统一管理；研究跨链企业数据价值评估与定价的理论模型，支撑跨链企业数据价值流动；研究跨链企业信用评价与数据高效流通机理，促进跨链企业数据高效流通与价值释放。在电子产品制造、装备制造等重点行业的产业链中，开展相关科学问题与关键技术演示验证。支持企业主体规模不少于 1000 个，业务数据种类不少于 10 种，跨企业数据协同效率提升 10%。

### 3. 面向工业制造的多智能体语义协同与控制。

针对工业制造场景下大规模异构边缘智能体的高效协作和可靠控制难题，研究面向多模态数据的语义统一表征方法，构建异构边缘智能体的语义对齐和语义解析算法；研究基于自然语言的多智能体拟人化交互理论，提出在资源受限条件下具有差错容忍的语义交互方法；研究时空任务驱动的多智能体

自主调度策略和轻量化分布式协同控制方法，设计异构多智能体间高效协作的感知、通信与控制模型。在汽车、航天等工业制造场景开展相关科学问题与关键技术演示验证，支持不少于 50 类异构边缘智能体的协同控制，连接设备不少于 500 台，提升生产效率 20%以上。

#### 4. 工业互联网柔性制造系统的优化算法理论及稳定性分析。

针对工业互联网柔性化制造流程的敏捷性和稳定性要求，探索制造系统柔性协同的物理机理，建立生产、输送和资源调度一体化的数学模型和优化决策理论，实现工业互联网柔性制造全流程云-边-端的高效协同与大规模任务需求精准适配；研究稳定高效的在线自适应优化算法，实现优化算法的稳定性快速分析与自适应生成。在柔性制造的典型应用场景开展理论与方法验证，实现大规模柔性制造任务需求下秒级任务规划与资源调度，降低任务延迟时间 20%以上，提高生产效率 20%以上。

#### 5. 工业互联网网络攻击行为动态检测理论与溯源方法。

面向工业互联网复杂环境中的高级可持续网络威胁检测与溯源需求，研究工业互联网网络攻击行为动态检测理论，提出攻击行为的统一表征方法、适用于工业复杂系统的多层级行为建模方法和基于安全数据融合的自演化异常检测方法，实现对未知攻击的快速发现与精准识别；研究面向工业互联网复杂全系统的攻击路径构建机理，探索差分异常根因分析关键技术，实现对攻击路径的精准溯源。在能源电力、冶金石化、汽车制造等典型行业中开展相关科学问题与关键技术演示验证，异常识别准确率和溯源准确率均超过 90%。

## 6. 面向产业链供应链韧性的全要素优化配置理论与方法。

针对产业链供应链中的风险网状级联放大、防控主体跨尺度多元、高维动态配置优化等韧性问题，研究工业互联网风险要素识别与量化、风险图景网络与传播模型、多元网络演化模型，建立网状协同优化的新模式和新理论框架，研究跨尺度、高精度的生成扩散式风险推演、评估、预警方法，以及全要素优化配置柔性调度方法，提升产业链供应链的韧性塑造能力。在航空航天、汽车、集成电路等典型行业中开展相关科学问题与关键技术演示验证，风险溯源和推演的准确率不低于 95%，全要素优化配置后供应链恢复时间减少 20%。

### (三) 集成项目。

1. 面向复杂产品研发的价值链共创机理与网络化智能协同技术集成演示验证。

面向复杂产品的设计与研发，瞄准研发供应链及生产加工过程、销售运维过程等全产业链、全价值链中多主体高效协作的需求，通过集成本重大研究计划前期已布局项目的研究成果，主要包括全价值链中多主体自组织协同与决策的机理、全产业链要素协同配置与调控的新理论、双链联动下的价值关系发现与协同模式创新的新方法、双链融合的网络化智能协同的新机制、双链耦合与复杂调控的新技术等重点项目成果，构建支撑复杂产品研发的跨产业链与价值链联动的网络化调控和管理决策一体化的智能协同集成演示验证环境，进一步验证相关科学问题的解决情况，并在装备制造、航空航天、

汽车、电子、纺织等行业中的不少于 3 个典型应用场景开展创新应用示范，加速前期布局项目研究成果的转化与落地。

2. 基于开放自动化架构的制造流程柔性构造理论方法与技术集成演示验证。

面向多品种变批量产品的个性化定制生产新模式，通过集成本重大研究计划前期已布局项目的研究成果，主要包括精准作业的人机协同控制与跨域实时优化、柔性装配机理建模与智能调控、柔性制造全流程质量在线评价与动态调控等重点项目成果，创新生产管控业务与资源解耦的“网、算、控”协同调控模式，构建基于开放自动化架构的工业互联网系统集成平台，搭建支撑生产制造流程柔性构造理论方法与技术的集成演示验证环境，进一步验证相关科学问题的解决情况，并在 IC 装备、装备制造、航空航天、冶金石化等不少于 3 个行业中的典型应用场景开展相关科学问题与关键技术的演示验证，加速前期布局项目研究成果的转化与落地。

#### **四、项目遴选的基本原则**

为确保实现总体目标，本重大研究计划要求研究内容必须符合指南要求，把握工业互联网发展趋势，结合工业互联网的实际问题，提炼基础科学问题开展创新性研究。

（一）要求研究与未来工业互联网相关的基础科学问题，即在申请书中需要明确解释研究对象的具体应用场景及需求，需要明确研究问题对全要素互联的结构化组织机理、生产制造流程的柔性构造理论与方法、产业链与价值链的网络化调控原理等核心科学问题的贡献。

(二) 在阐述国际发展的最新态势及该方向在重大研究计划支持下已经取得的重要进展基础上，要归纳提炼明确的科学问题。

(三) 针对科学问题，研究队伍要有明确的分工，发挥各自优势，开展联合攻关和协作研究，形成有机的研究链条，建议积极吸纳工业互联网用户单位为项目参与单位。

(四) 要明确对实现重大研究计划总体目标和解决核心科学问题的贡献。

(五) 要明确具体应用场景，研究目标中应包含可量化、可考核的指标。

## **五、2024 年度资助计划**

2024 年度拟资助培育项目 8 项左右，直接费用资助强度约为 80 万元/项，资助期限为 3 年，申请书中研究期限应填写“2025 年 1 月 1 日-2027 年 12 月 31 日”；

拟资助重点支持项目 6 项，直接费用资助强度约为 230 万元/项，资助期限为 3 年，申请书中研究期限应填写“2025 年 1 月 1 日-2027 年 12 月 31 日”；

拟资助集成项目 2 项，直接费用资助强度约为 1000 万元/项，鼓励申报单位与企业或地方政府部门按照 1:2 配套，资助期限为 2 年，申请书中研究期限应填写“2025 年 1 月 1 日-2026 年 12 月 31 日”。

## **六、申请要求及注意事项**

(一) 申请条件。

本重大研究计划项目申请人应当具备以下条件：

1. 具有承担基础研究课题的经历；

2. 具有高级专业技术职务（职称）。

在站博士后研究人员、正在攻读研究生学位以及无工作单位或者所在单位不是依托单位的人员不得作为申请人进行申请。

（二）限项申请规定。

执行《2024 年度国家自然科学基金项目指南》“申请规定”中限项申请规定的相关要求。

（三）申请注意事项。

申请人和依托单位应当认真阅读并执行本项目指南、《2024 年度国家自然科学基金项目指南》和《关于 2024 年度国家自然科学基金项目申请与结题等有关事项的通告》中相关要求。

1. 本重大研究计划项目实行无纸化申请。申请书提交日期为 2024 年 9 月 29 日 - 10 月 11 日 16 时。

（1）申请人应当按照科学基金网络信息系统中重大研究计划项目的填报说明与撰写提纲要求在线填写和提交电子申请书及附件材料。

（2）本重大研究计划旨在紧密围绕核心科学问题，将对多学科相关研究进行战略性的方向引导和优势整合，成为一个项目集群。申请人应根据本重大研究计划拟解决的具体科学问题和项目指南公布的拟资助研究方向，自行拟定项目名称、科学目标、研究内容、技术路线和相应的研究经费等。

（3）申请书中的资助类别选择“重大研究计划”，亚类说明选择“培育项目”、“重点支持项目”或“集成项目”，附注说明选择“未来工业互联网基础理论与关键技术”，根据申请的具体研究内容选择相应的申请代码。

**培育项目和重点支持项目的合作研究单位不得超过 2 个，集成项目的合作单位不得超过 4 个。**

(4) 申请人在申请书“立项依据与研究内容”部分，应当首先说明申请符合本项目指南中的拟资助研究方向，以及对解决本重大研究计划核心科学问题、实现本重大研究计划科学目标的贡献。

如果申请人已经承担与本重大研究计划相关的其他科技计划项目，应当在申请书正文的“研究基础与工作条件”部分论述申请项目与其他相关项目的区别与联系。

2. 依托单位应当按照要求完成依托单位承诺、组织申请以及审核申请材料等工作。在 2024 年 10 月 11 日 16 时前通过信息系统逐项确认提交本单位电子申请书及附件材料，并于 2024 年 10 月 12 日 16 时前在线提交本单位项目申请清单。

### 3. 其他注意事项。

(1) 为实现重大研究计划总体科学目标和多学科集成，获得资助的项目负责人应当承诺遵守相关数据和资料管理与共享的规定，项目执行过程中应关注与本重大研究计划其他项目之间的相互支撑关系。

(2) 为加强项目的学术交流，促进项目群的形成和多学科交叉与集成，本重大研究计划将每年举办 1 次资助项目的年度学术交流会，并将不定期地组织相关领域的学术研讨会。获资助项目负责人有义务参加本重大研究计划指导专家组和管理工作组所组织的上述学术交流活动。

### (四) 咨询方式。

国家自然科学基金委员会信息科学部信息科学二处

联系电话：010-62327929, 62327807, 62327090