**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2021年度项目指南的通告**

国科金发计〔2021〕46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2021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

2021年8月4日

**“未来工业互联网基础理论与关键技术”重大研究计划2021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、2021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，2021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.基于系统熵的工业互联网拓扑演化机理与相关数学方法

　　面向未来工业互联网典型场景，探索工业互联网的复杂拓扑结构，构建相应的复杂网络几何度量模型、信息传输模型和网络演化模型；研究复杂网络系统的本征谱系、系统熵理论、动力学演化机理，提出可应用于工业互联网的分析、计算、优化、决策和调控等相关数学方法。

　　2.面向工业互联网复杂要素的多源特征融合表征方法与组织推理

　　面向未来工业互联网复杂要素精准表征需求，探索多源异构数据资源的统一表征与融合管理机制、多源异构生产要素的低维子空间共享表示方法，研究工业生产多源数据的相关/不相关特征的共学习机制，提出工业要素多源异构低质数据融合管理的理论与方法。

　　3.多工序复杂耦合定制化生产过程的误差传播机理与在线容差分析

　　针对传统离线容差分析精度低、难以适应定制化生产等瓶颈问题，探索多工序精密装配过程中的部件尺寸误差、装配误差、受力变形等多误差耦合作用与传播机理，研究多级耦合误差与产品质量及性能的量化关联关系；针对产品质量多维度特征，研究多工序解耦的网络边缘侧在线容差分析方法，提出满足装配精度要求的容差动态分配与补偿方法。

　　4.工业互联网高精度时延抖动控制理论与方法

　　面向未来工业互联网中云化控制、工厂互联等时间敏感应用场景，研究时间敏感网络的跨层调度、跨域传输机制等核心技术，提出时间敏感网络的端到端传输理论模型和相应的高精度时延抖动控制方法，实现微秒级的端到端时延抖动控制。

　　5.智能制造软件与协议的安全检测理论及评估方法

　　面向全要素互联系统软件与协议的安全检测与评估需求，研究智能制造软件与协议的安全性智能测试理论、协议安全性分析方法和软件安全性评估方法，自主有效发现软件与协议的安全性隐患。

　　6. 面向工业互联网数据安全的高精度异常检测理论与溯源方法

　　面向工业互联网敏感数据的高安全需求，研究典型工业场景下数据特征空间的紧致表达与多源融合新理论新方法，探索异常稀疏数据的高阶复杂关联规律，构建低虚警、低漏检、在线可进化的异常数据检测架构，提出异常数据全生命周期溯源与网络拓扑驱动的修复方法。

　　（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，2021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.面向多场景端到端性能可控的新型工业互联网体系架构

　　面向按需可重构智慧工厂中人机料法环等生产全要素互联需求，针对接入环境复杂、端到端性能可控性差等瓶颈问题，研究面向人机物三元融合、全要素智能互联的CT、IT与OT深度融合的新型工业互联网体系架构，突破环境智能感知、生产全要素按需互联、高可靠端到端数据传输、跨层协同与协议设计、端边协同计算与边缘轻量化等“感-传-算”一体化关键技术，构建体系架构的数字孪生模型，面向高端装备制造中的多场景，综合应用工业机器人、移动AGV等开展有效性验证，动态大规模网络端到端延迟小于等于10毫秒，端到端数据传输可靠性满足工业现场控制级要求。

　　2.工业互联网边缘侧轻量化可信智能安全系统理论与方法

　　面向未来工业互联网数据与应用服务的可信安全需求，探索边缘侧轻量级数据加密系统理论与方法，突破轻量级数据加密与防护、隐私保护的群智协同学习，构建高能效、高安全性的边缘智能计算体系架构；面向未来工业互联网网络安全需求，探索生产线多目标协同轻量化安全调控机理以及基于区块链的隐私保护技术，突破工业边缘节点的异步可信协商、大规模异构终端身份认证与鉴权等关键技术，实现工业互联网人机物全要素群智安全互联的新型内生安全网络体系架构。面向无人大规模智能制造环境的应用，开展存算感知相融合边缘侧可信安全系统及理论方法有效验证，实现万级同质边缘节点容量规模下，单次加密操作能耗降低一个数量级。

　　3.面向制造模式变革的工业互联网柔性构造与智能调控

　　面向多品种变批量特征下的个性化定制、共享制造等需求，针对未来工业互联网柔性制造全流程协同调控难、系统重构偏差大、产品质量一致性差等瓶颈问题，研究柔性化定制生产过程中分布式资源调控机制、多变量误差传播与耦合机理，多尺度特征智能检测与评估体系、小样本数据质量预测与优化模型，构建基于生产制造全要素全流程优化的数字孪生协同集成智能调控原型系统，实现动态扰动下系统分布式资源调控、数据驱动的系统建模、质量预测与控制以及全流程重构的多目标优化，结合航空航天、装备制造、纺织等典型行业开展有效性验证，显著提升生产要素优化配置、协同运行效率及产品制造质量。

　　4.智慧车间复杂传播环境适变理论与重构机制

　　面向智慧车间电磁环境的复杂性与现场应用场景的多样性需求，针对有限空间内无线信号传播的随机性与不可控性难题，研究智慧车间复杂传播环境适变理论、信道精确建模与智能重构方法，建立环境智能感知、资源配置与优化调控模型，支撑智慧车间复杂电磁环境下的信道自构建、自优化、自维护，实现车间内部场景与外部需求变化的智能快速感知与适应，结合典型智慧车间场景，开展理论与方法的有效性验证，显著提升无线传输资源使用效率。

　　5.面向工业互联网的轻量化软件体系架构

　　面向工业互联网资源高效协同和要素柔性重构需求，研究融合端边云资源的轻量化软件构建方法，突破跨网络/跨协议/跨粒度的端侧软件集成、工业互联业务语义建模、多模态本征模型度量、构件动态组合与数据关联、工业应用低代码编程等关键技术，构建层次化、轻量化软件架构体系，为工业互联网领域软件工程理论与开源生态奠定基础，结合协同制造、智能维护等典型场景，开展理论、方法与架构的有效性验证，显著提升工业互联网软件开发效率。

　　6.面向智能制造价值链的生产自组织协同机理与管理方法

　　面向新产品生产自组织与价值链高效协同管理的需求，研究工业互联网实现产品快速集成创新与高质量制造的服务新模式、基于业务流程/信息透明度/供应链合作关系/产业链战略联盟的价值链综合集成新方法，发现产品价值链中利益相关方短期与长期价值的关联关系，揭示工业互联网生态系统价值链的协同优化机理，建立新产品业务流程的自动生成模型、面向价值链的生产自组织协同决策体系与运行管理机制，结合新产品智能制造场景，开展理论、方法与模型的有效性验证，显著提升新产品的研发效率和价值链利益相关方的效益。

　　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、2021年度资助计划

　　2021年度拟资助培育项目约10项，直接费用的资助强度约为80万元/项，资助期限为3年，培育申请书中研究期限应填写“2022年1月1日-2024年12月31日”；拟资助重点支持项目约5项，直接费用的平均资助强度约为260万元/项，资助期限为3年，申请书中研究期限应填写“2022年1月1日-2024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《2021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、《2021年度国家自然科学基金项目指南》和《关于2021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2021年9月6日－9月10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”和“重点支持项目”，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。

　　（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重点资助研究方向，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2021年9月10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9月11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二处

　　联系电话：010-62327929, 62327149