

未来工业互联网基础理论与关键技术重大研究计划 2022 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、2022 年度资助研究方向

（一）培育项目。

围绕上述科学问题，以总体科学目标为牵引，2022 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.面向工业互联网的系统拓扑结构识别与优化（申请代码 1 选择数理科学部下属代码）。

面向复杂动态环境下工业互联网的任务多样性和结构多变性特点，研究复杂动态环境下的拓扑结构识别和系统参数辨识问题，识别工业互联网中的关键节点；研究多动态约束下协同优化问题的数学基础理论，优化云边资源配置，提高工业互联网的全局优化和实时响应能力。

2.面向复杂多元业务特性的工业互联网架构可重构性理论及方法（申请代码 1 选择信息科学部下属代码）。

探索面向复杂多元业务特性的工业互联网新型融合范式，研究复杂多元业务感知、控制、通信、计算、服务等多维度的统一建模理论与协同机制，研究基于业务驱动的工业互联网架构重构理论及方法，提高工业互联网对复杂多元业务的适应性。

3.面向精密制造的工业互联网统一时空基准理论与关键技术（申请代码 1 选

择信息科学部下属代码)。

针对典型精密制造场景,探索工业互联网人机物全要素互联的时空关系演变及作用规律,构建相应的时空基准统一模型;研究有线/无线异构网络下时空信号协同测量方法,突破基于无线信号的高精度、低开销时间同步与位置估计等关键技术,为构建精密制造时空统一基准提供关键技术支撑。

4. OT/CT/IT 异构协议簇融合与统一建模方法研究(申请代码 1 选择信息科学部下属代码)。

探索工业互联网 OT/CT/IT 异构融合过程中广域与局域、无线与有线等端到端传输的多模态协同机理,研究跨平台协议的实时感知与行为解析方法,建立异构网络的虚拟资源映射机制和统一服务模型,突破异构协议簇高效融合的通信-计算-控制一体化资源调度技术,为 OT/CT/IT 异构协议簇的融合与统一提供支撑。

5.复杂构件增减材制造过程的耦合机理与孪生交互的工艺优化方法(申请代码 1 选择工程与材料科学部下属代码)。

针对增减材制造的逐点成形工艺特征,研究工业互联网支撑下的多参量协同感知技术,建立数据驱动的层道质量识别模型,揭示增减材复合工序耦合机理;研究基于虚拟现实交互的增减材制造工艺优化方法,构建增减材制造全流程数字孪生的开放系统模型,为实现形性可控的复杂构件高精度制造提供支撑。

6. 面向无人工厂的多智能体协同与决策机制(申请代码 1 选择信息科学部或管理科学部下属代码)。

面向无人工厂智能制造场景,研究机、物、料、法、环制造要素以及复杂制造环境的认知技术,提出多智能体的全局认知一致性表征方法;研究工业互联网环境中多智能体有限交互下的信息融合技术,提出多智能体协同的控制决策方法。为工业生产从“人在回路”到“智在回路”的范式拓展提供支撑。

(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,2022 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.面向智能制造的通信-感知-控制一体化智能机器组网基础理论、架构及关

键技术（申请代码 1 选择信息科学部下属代码）。

面向智能制造车间中大规模智能机器高效可靠互联的需求，针对通信-感知-控制分离设计难以解决智能机器超低时延高可靠信息交互的瓶颈问题，研究通信-感知-控制一体化闭环信息交互系统级信息理论与新型边缘无线组网架构，支持大规模机器节点海量感知业务和控制信息等；研究通信感知深度融合的大规模智能机器超低时延和高可靠信息交互技术，实现基于链路级通信感知一体化的多节点网络化感知以及超低时延高可靠信息传输；研究面向大规模智能机器的分布式计算与网络化闭环控制技术，实现面向智能制造多机器灵活控制。选取典型智能制造场景，综合应用 AGV、工业移动机器人等载体开展通信-感知-控制一体化智能机器组网关键技术验证，满足智能制造典型场景的闭环控制时延不高于 2ms，信息交互可靠性不低于 99.9999%等关键指标。

2.柔性制造全流程质量在线评价与动态调控理论与关键技术（申请代码 1 选择工程与材料科学部下属代码）。

面向复杂动态工业场景柔性制造质量控制的需求，研究产品制造多类型、跨尺度缺陷在线检测方法，构建多信息融合质量智能评价模型；探明工艺参数与质量特性的非线性时变映射机制，建立小样本非均衡数据下产品质量预测与工艺优化模型；揭示全流程多源误差混合迭代传播机理，突破误差传播模型驱动的多工序误差分配与工艺动态重构技术，实现柔性制造质量全过程数字化追溯和智能调控；结合航空航天大型复材构件、车船零部件制造等典型工业场景开展有效性验证，工业缺陷种类不少于 50 种，样本数据不少于十万量级，自动化检测准确率优于 95%，新产品试制周期降低 30%以上，显著提升质量检测效率和良品率。

3.面向复杂产品创新与制造效率的产业链-价值链双链联动调控机制（申请代码 1 选择管理科学部下属代码）。

面向制造资源精准链接、产业链与价值链双链联动以实现多主体高效协作的需求，针对双链联动的价值关系、演化路径、自组织协同调控和运行管理机制等难题，研究物理空间、社会空间和信息空间中数据串联、信息融合和业务协同方法，产业链的数字化管理体系与调控机制，大规模异质群体智能协同与集成决策方法，数据驱动的产业链-价值链跨链耦合建模，双链联动的价值关系发现与协同机理，构建基于工业互联网的产品快速集成创新与高质量制造管理的新模式，

结合重大技术装备的关键制造场景，开展理论与方法的有效性验证，显著提升复杂新产品研发与制造的效率，降低非固定制造成本 20%以上，缩短复杂新产品研发周期 15%以上。

4.工业互联网多源异构数据可信共享与按需服务的理论与关键技术（申请代码 1 选择信息科学部或管理科学部下属代码）。

面向工业互联网多源异构数据治理、安全流通与按需服务等需求，针对工业数据治理、安全可信交换、数据质量保障与按需服务等难题，研究业务流程驱动的数据空间模型建立方法、时序数据的智能治理方法与价值评估体系；研究面向工业多层级复杂安全体系下的隐私计算理论，构建基于数据空间方法的数据确权与安全数据交换体系，形成支持工业互联网多源异构数据可信共享的服务体系和业务模式；探索工业互联网中数据时空关联关系及其演化规律，研究多源异构工业数据的容错汇聚、数据质量保障、融合时空关联的数据按需服务等关键理论与方法，实现对数据的精准溯源与追踪。面向航空、航天、船舶、装备制造等典型应用示范场景，开展模型和方法架构的有效性验证，支持工业主体规模不小于 1000 个，关键业务域种类不小于 5 种，按需服务准确率不少于 95%。

5.面向功能安全的工业互联网内生安全理论、架构与关键技术（申请代码 1 选择信息科学部下属代码）。

面向工业互联网功能协同执行确定性需求，探索功能确保的内生安全基础理论，研究工业功能内生安全能力构造机理，构建面向确定性系统的内生安全架构。探索功能执行的系统行为模型，构建非侵入式内嵌安全约束的保障机制、突破多维度异常行为研判与未知攻击追踪技术。探索功能执行自主化验证机理，研究功能执行一致性验证范式，突破工业功能形式化建模，功能协同执行一致性验证，异常功能追踪等技术。开展工业互联网内生安全技术验证，在受到攻击情况下，功能安全执行率超过 90%。功能执行一致性验证覆盖率超过 90%；功能安全保障额外开销小于 10%。

6.流程工业生产链和产业链智能协同与优化的决策理论与关键技术（申请代码 1 选择工程与材料科学部、信息科学部或管理科学部下属代码）。

面向流程工业生产链和产业链高效协同和低碳安全运行需求，针对流程工业产业链上下游分离脱节、生产资源配置不均衡、绿色低碳强约束等瓶颈问题，研

究基于工业互联网的流程工业生产链物质流和能量流全要素深度感知和协同预测方法，构建生产链与产业链协同的数据驱动优化决策架构，研究面向弹性产业链供给的生产链资源配置、管控与自组织优化方法，实现融入产业价值链的生产链全链资源灵活配置与高效利用。面向冶金、石化等一类典型流程工业生产链和产业链上下游场景，开展智能协同与优化决策理论方法与关键技术应用验证，资源配置效率达到行业先进水平。

（三）集成项目。

在本重大研究计划前期布局和资助成果的基础上，集中优势力量，围绕以下方向进行集成，力争实现跨越发展。

1.工业互联网全要素资源互联、协同与融合集成演示验证。

面对工业场景生产任务繁多、场景多变、层次多样、链条绵长、环节耦合等特点，通过集成本重大研究计划前期布局项目的研究成果，重点围绕工业互联网生产全要素资源按需互联的新型架构、语义驱动的智简组织、多源异构资源表征、人机实时交互控制、资源跨域高效协同、资源跨链体系化调控、资源与生产协同优化制造等新模式、新机制、新理论与新方法，深化工业互联网全要素资源互联、协同与融合集成等问题研究，依托工业互联网创新数字孪生驱动的生产全要素管理与决策一体化模式，构建支撑生产全要素与全产业链资源协同的技术体系与验证环境，并在航空航天、装备制造、消费电子、冶金、化工、矿山、纺织等不少于3个行业开展创新应用示范，促进前期布局项目研究成果加速转化落地。

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、2022 年度资助计划

2022 年度拟资助培育项目 10 项, 直接费用资助强度约为 80 万元/项, 资助期限为 3 年, 培育申请书中研究期限应填写“2023 年 1 月 1 日-2025 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 260 万元/项, 资助期限为 3 年, 申请书中研究期限应填写“2023 年 1 月 1 日-2025 年 12 月 31 日”; 拟资助集成项目 1 项, 直接费用资助强度约为 1200 万元/项, 鼓励申报单位和地方政府部门按照 1:2 配套, 资助期限为 2 年, 申请书中研究期限应填写“2023 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《2022 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、《2022 年度国家自然科学基金项目指南》和《关于 2022 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 2022 年 9 月 16 日—9 月 22 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 2022 年 9 月 22 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 23 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