

国产化率较低(不足10%),三维几何引擎(CAD软件内核)、CAE求解器等工业软件基础及核心技术距离独立自主尚有差距;大多购买国外产品授权或者直接使用开源内核进行软件产品开发,导致工业软件基础与核心技术在特殊情况下存在“卡脖子”风险。

## 2. 系统集成环节的企业规模小,产业生态不完整

从体量上看,我国工业增加值的世界占比(24.5%)、研发经费投入的世界占比(23.8%)已位居前列。《中国工业软件产业白皮书(2020)》指出,我国工业软件产业收入的世界占比仅为6%,这表明产业生态不够完整,难以匹配工业企业转型升级需求。目前,我国工业软件企业覆盖面宽,但规模普遍较小、盈利能力不强、产品体系化程度不高;几乎没有接近世界一流水平、技术、规模的企业,在经济循环中发挥带头作用并畅通市场的大企、强企尤为缺乏。值得指出的是,重点工业企业对自主工业软件的带动孵化作用缺位,如航空、航天、船舶、电子、轨道交通等制造领域的产品创新设计、仿真模拟、工艺流程控制等,几乎清一色地采用国外工业软件,新型号、新产品的研发过程对其依赖性也越来越强。这一局面,不仅影响了我国工业产品的正向设计能力,而且不断拉大了国内工业软件与国外的技术与应用差距,间接促进了应用生态壁垒的形成。

长期以来,政府专项支持所采用的项目遴选机制无法保证企业获得持续支持,社会资本更愿意投入“短平快”项目,加之企业自身投入不足的客观事实,都导致工业软件部分领域发展的可持续性较弱,部分项目在经济循环中的参与度偏低。成熟的工业软

件研制过程普遍较长,而目前每3~5年发布一次指南来遴选一批企业的方式,不利于形成长期稳定的核心工作团队。在国家科研规划制定过程中,仍一定程度上存在“各自为战”“平均分摊”现象,立项的原则及重点不清晰,导致各类型基金项目之间存在同质化、重复投入问题。工业软件支持专项本应将人员经费作为主要部分(而非采购大量设备),现行资金管理办法与之存在结构性矛盾;资金管理效率尚未达到高水平线,更高效率、更高质量的投入产出关系有待形成。

## 3. 复合型的软件研发人员缺口较大,人才培养有待完善

长期以来,我国工业软件产业发展疲软,软件研发人员的薪酬待遇不具有市场竞争力,而一些新兴的信息类产业发展迅速且软件人才的薪资水平较高,造成了工业软件产业高端领军人才匮乏、深入掌握工业类专业知识的软件人才短缺等现象。客观来看,工业软件研发人员在掌握软件开发技能的同时,还需对复杂工业机理、产品对象、业务场景、操作流程等具有深入理解与认知,复合型的领军人才培养更是周期长、难度大;因国家支持的连续性不足,高校、科研机构的核心人才流失严重,工业软件行业的教育培训力量不足,甚至出现了研究断层情况。

## 五、我国工业软件产业发展路径

工业软件的影响通常超过自身所在的软件领域,对多个工业领域发展都产生“杠杆”作用;工业软件产业是典型的高技术壁垒行业,国际企业通过技术创新与知识产权构筑了较高的行业进入壁垒。在原有市场格局下,

国内工业软件企业因未来市场规模限制,不愿投入较多资源来进行技术研发,也就难以切入高端工业软件市场。近年来,逆全球化趋势给工业软件国际合作构成了挑战,但在双循环新格局下,造成我国工业软件产业面临供给难题的同时,也给国内工业软件企业带来了新的发展机遇。例如,进口替代将为工业软件产业带来显著的增量市场空间,有利于加快实现工业软件领域的自主可控。

与国计民生高度相关的制造业重点领域无法脱离工业软件的支持,工业软件自主可控是我国产业安全、信息安全的重要保障。工业软件产业作为可能面临“卡脖子”的领域,亟待通过自主创新取得长足发展;因其基础性、平台性作用,加之在很多情况下构成了单一产业的创新数字环境,潜在的辐射效应突出。需要指出,我国工业软件产业面对的是一个相对成熟的存量市场,相比开拓全新需求市场的实现难度更大;工业软件企业不应追求面面俱到,而是要做专做精,在细分行业、细分领域打造独特的优势产品;保持面向国际的开放心态,深化前沿领域技术与应用合作。与此对应,本文探讨提出了补短强基、追赶突破、卓越引领3条发展路径。

### (一)工业软件产业补短强基路径

#### 1. 发展目标

针对存在“掐脖子”风险的研发设计类工业软件,突破核心关键技术,打破国外产品垄断和技术封锁;重点面向CAD、CAE、EDA等软件类别,针对三维几何引擎、求解器等共性关键技术开展攻关。相关研究资源投入大、应用壁垒高,而产业收益低、技术差距明显,使得行业用户的投入信心不足,难以通过市场机制解决;需建

立长效的协同攻关机制，集中高校、科研院所的优势力量开展联合研究，力争五年内形成基本可用的自主技术，十年内稳步缩小与国际先进水平的差距。此外，复杂工业软件的系统架构、工业技术软件化、复杂工程问题建模、工程化人机交互等也是决定能否形成商品化工业软件的关键要素，应成为重点突破方向。

到2025年，率先突破三维显示引擎、约束求解、三维几何建模引擎、通用前处理器 / 求解器 / 后处理器、生产控制工艺包等关键核心技术，在高端研发设计类工业软件产品中应用自主开发的内核技术；在关键行业开展试用和示范，基本形成工业软件技术标准与生态体系，缓解“卡脖子”问题。到2030年，形成安全可靠的工业软件及其标准体系，在CAD、CAE、EDA等核心工业软件产品方面实现突破提升，满足重点行业应用需求。到2035年，形成具有完全自主知识产权的研发设计类工业软件产品体系。

## 2. 基本步骤

一是加强工业基础研发及与工业软件的衔接。工业软件是工业知识软件化的产物，应深刻认识“没有先进的工业就没有先进的工业软件”。面向航空、航天、船舶、电子、轨道交通等重点行业，全面梳理基础材料、零部件、工艺、装备等方面现存差距，使用工业软件的门类和谱系；分析国产工业软件产品的技术差距及成因，厘清制造科学基础理论、工业知识方面的短板，与国家自然科学基金等其他科技渠道、“工业强基”工程的共性基础研究成果紧密对接；加强与行业重大工程、高端装备的应用衔接，体系化建设工业企业的正向设计与知识积累能力。

二是建立多形态开放、开源、协同的新型举国体制。针对共性关键技术难以市场化解决的实际，以国家组织集体攻关、“产学研用”多主体协同、保障专项资金持续投入的方式，长期性地开展科技攻关。以国家重点实验室、工程技术创新中心、自主开源软件社区等形式，组织开展基础性研究和核心技术攻关。在一定期限内关注而不看重直接经济效益，为我国工业软件自主可持续发展补齐短板、夯实基础。依托重点行业的重大装备产品，形成行业 / 领域工业软件产品解决方案。

三是探索原理创新、架构创新的发展路径。从技术路线上另辟蹊径，不走“画形状”、有限元的发展老路，而是探索基于等几何拓扑优化，实现几何建模、结构分析、优化设计三位一体的“算形状”新技术、新模式，努力开辟CAD、CAE方向的第二条发展道路。结合新一代信息技术带来的技术创新机遇，从工业知识、工业流程上解耦工业软件，重构形成云化、微服务化、分布式的软件架构。发挥我国工业体系相对完整的固有优势，鼓励工业企业、工业软件企业、科研机构等各类应用主体，遵照一定的标准来开发工业机理模型并软件化，形成大规模“点状”知识积累与溢出的发展态势。

## (二) 工业软件产业追赶突破路径

### 1. 发展目标

面向具有一定基础的生产控制类、管理运营类、服务保障类工业软件，加速国产化替代进程，推动自主产品走向高端市场，建立完善的生态体系。针对生产控制类、经营管理类、服务保障类软件中具有一定基础的软件产品，鼓励管理部门、软件企业、应用

企业达成共识，促使工业软件发展与制造业业务的深度融合；在制造过程中持续积累关键工艺流程、工业技术数据等，促进软件产品与工程实践的高效结合，最终实现产业需求带动技术发展、技术发展促进企业革新的双向反馈态势。鼓励工业企业使用国产工业软件，保持合理反馈以促进国产工业软件的迭代完善。致力推动国产工业软件产品走向高端，打破进口产品的市场垄断地位；优化工业软件产业发展环境，构建自主可控的健康生态体系。

到2025年，形成具有良好市场化应用成效的工业软件生态。

到2030年，初步形成基于容器云、微服务架构的新一代大型企业数字化平台，各类工业软件逐渐转向组件化、平台化、服务化。

到2035年，基本完成工业软件产品的国产化替代工作，自主产品合理占据国内市场，在国际市场上具有一流竞争力。

## 2. 基本步骤

一是“促联合”，与工业龙头企业深度融合，破解我国工业软件企业发展瓶颈。鼓励工业软件骨干企业与工业龙头企业通过股权投资等方式，共同搭建业务关联紧密的协同发展平台；借助工业企业的资金、订单、知识，抓住工业软件需求获取、产品采购的两端，形成市场化的利益共同体，加速工业软件的应用推广和演进提升。

二是“聚资源”，面向细分市场保持适度的发展规模，借助资本和市场的力量加速发展。鼓励工业软件企业正视资金、人才、技术不足等现实问题，面向细分市场开展针对性布局；不追求大而全式的发展模式，而以增强盈利能力、保持可持续性为核心，集

中自身有限资源形成若干“小巨人”形态的工业软件产品格局。设立切实有效的金融政策，推动社会资本参与对国内外工业软件企业的投融资与并购活动，支持我国工业软件企业做精做强、稳健发展。

三是“给机会”，通过工业应用培育工业软件产品。突出工业企业与工业软件企业在需求与应用实践之间的互动，推动工业企业的先进工业技术创新成果向工业软件企业溢出，形成以工业企业与工业软件企业融合驱动的工业软件技术攻关及产品协同发展新模式。工业企业制定其信息技术发展战略，将国产工业软件应用情况列为国有大型企业的经营指标予以考核，积极试用、使用国产工业软件，支持工业软件企业迭代完善相关产品。建立行业性的工业软件创新中心，通过持续投入筑牢基础、寻求突破，承担产品研发和应用推广工作，带动本行业企业的国产工业软件应用推广工作。

四是“能孵化”，发挥重大工程在工业技术原始创新方面的带动作用。在重点行业的龙头企业中，依托重大工程研发任务，在实现工业技术原始创新的基础上，组织“产学研用”各方力量，研制行业 / 专业方向的工业软件技术与产品，力争达到国际领先水平。鼓励工业龙头企业自建工业软件研发部门，寻求工业软件业务的分拆及上市。

### （三）工业软件产业卓越引领路径

#### 1. 发展目标

面向新型工业软件需求，紧跟“数字定义工业”创新发展浪潮，加大前沿技术研究力度，实现我国工业软件产业与国际进展同步布局。重点发展云计算、工业大数据、工业互联

网平台、工业 APP、低代码开发环境、智慧企业、智能工厂等新型软件技术；以新型工业软件为突破口，加速工业软件云化、平台化、智能化转型进程，辨识并把握行业跨越式发展机遇。发挥我国工业应用场景优势和新技术应用潜力，加强工业互联网基础设施及平台建设，推动新型工业软件持续发展能力和技术产业体系成为国际一流。

到2025年，建成一批工业互联网平台，为重点行业的大数据、AI等应用提供直接支撑；形成类型丰富的工业大数据系统产品，支持资源掌控能力、技术支撑能力、价值挖掘能力的全面提升；培育数量众多、高价值、高质量的工业 APP。

到2030年，建成基于智能化互联产品的工业互联网，达到国际水准的工业互联网平台3~5个；工业大数据系统、工业互联网平台基本覆盖重点行业。

到2035年，全面建成国际领先的工业互联网基础设施及平台。

#### 2. 基本步骤

一是产用融合，需求牵引。在制造业深化发展过程中，工业企业逐渐实现数字化转型和升级，局部的技术积累效应逐渐显现，将反向驱动国产新型工业软件的高质量发展。坚持“软件是用出来的”理念，结合重点行业、重大工程的实际需求，在推进工程研制任务的过程中形成各类专业化的工业模型并实现在新型工业软件中的整合。注重新型工业软件与工程需求、制造技术、业务过程的深度融合，主动协调并积极推动国产工业软件在各类企业中的应用。

二是构建生态，多方协同。对于大数据、云计算、AI等新兴技术，国际

上普遍采取开源发展模式，依靠开源社区进行迭代，相关技术模型很难依靠单一厂商的自我研发来实现同等效能。秉持开源发展理念，建立工业软件开发者社区生态，以开放、创新、灵活的机制将众多开发资源、用户资源纳入相应产品创新体系。企业可围绕新型工业软件的创新链与产业链，聚焦重点、分工协作，建立适应国情的开源软件社区，形成覆盖“产学研用”的生态体系。

## 六、我国工业软件产业发展建议

### （一）优化组织模式，发挥工业企业主体带动作用

以工业企业为主体，探索单点突破与行业突围相结合的创新组织模式。建议由重点行业的龙头企业牵头，整合工业软件产业力量，全面梳理理论、机理、技术、应用等方面的技术态势，明确需要优先和重点突破的短板环节；依托国家重点研发计划、重大工程研发任务的支持，开展技术攻关与联合研发，着力打造自主可控的工业软件技术体系。将实际需求、技术溢出转化为目标导向，突破常规的项目合同协作方式，探索工业企业牵头、多创新主体共同参与研发的新型组织模式。建设若干行业工业软件创新中心，以多种形式支持中小企业应用国产工业软件。

### （二）细化政策对象，分层次推进工业软件关键技术突破

面向不同行业、不同层次、不同特点的工业软件关键技术与产品，区别对待、分层推进、多措并举。针对以三维几何引擎、求解器等为代表，差距大、投入高、收益低、周期长的关键技术，以国家组织集体攻关的方式谋

求快速突破。针对以ERP、生产信息化管理系统等为代表，我国具有一定的技术储备及应用基础的软件产品，支持工业企业试用、使用国产工业软件，逐渐迭代并稳步完善国产工业软件。针对以工业互联网、工业大数据为代表，我国与国外同步甚至部分超越的新型工业软件技术及产品，与国外同步布局，发挥工业应用场景充足的特色和优势，形成国际引领的发展地位。

### （三）扩大应用市场，促进工业软件产品创新

加强国产工业软件的应用示范，制定国产可替代的分级目录，鼓励企业使用国产工业软件，形成产业需求、技术发展的双向反馈通道。既追求“大而强”，也扶持“小而美”，注重产

业的良性循环与可持续发展。突破原有的项目申报、评审等支持方式，重构评价体系与奖励机制，采用“以用代评”“以奖代补”等机制来切实提升企业产品创新动力。发布税收优惠及减免等扶持政策，合理减轻企业研发负担，支持企业提升生存力和抗风险能力。加强知识产权保护力度，打击盗版等不良行为，营造良好的产业发展环境。

### （四）挖掘人才潜能，多渠道支持工业软件人才培养

充分发挥开源社区的“开放”属性，立足国情多方汇聚人才，推动工业软件开源生态系统搭建、技术社区建设、开源项目培育、开源团体标准研制、开源技术推广应用、开源人才

培养等，探索形成互联网环境下的新型工业软件开源发展模式；为各层次人才对象提供政策引导、知识产权保护、开源社区建设、相关标准制定、数据资产保护等服务。健全有关产业创新的分配制度与激励机制，完善符合各类人才特点的发展评价体系，充分激发人才创新动力；尊重人力投入和智慧产出，合理保障人员待遇，提升人员费用在项目实施中的占比。推行“产学研用”协同机制，鼓励工业软件企业与高校、科研机构联合培养产业人才；在高校增设工业软件课程，加强国产工业软件的实训体系建设，提升与人相关的工业软件应用水平。<sup>[7]</sup>

**注：**本文内容呈现略有调整，若需可查看原文。

（上接第06页）

究水平，在提升自身产业整体质量的同时，对下游相关产业质量改善形成重要支撑。

### （五）加速新技术赋能优质制造

通过政策引导、市场牵引，加大基础性、颠覆性核心技术研发及投入力度，在物联网、大数据、AI、云计算等智能科学新技术方向上不断深化，推动信息手段、制造技术、数据科学在优质制造中的深度融合，赋能优质设计、优质制造、优质运维全流程。整合“产学研用”资源优势，实施优质制造大数据战略；针对工业大数据感知采集、加工处理、传输存储、决策分析各环节，优化工程统计手段、智能分析方法、质量回溯机制，建立优质制造质量动态评价系统。培育优质制造协同创新中心，支持各类企业、高校、科研机构成立优质制造技术研发平台，推动科技攻关项目落地实施；开展优质制造试点项目示范与推广，凸显标杆

企业的行业技术创新引领作用。

### （六）夯实质量技术基础

完善标准、计量、检验检测、认证认可等优质制造质量技术基础协同服务产业链的流程与机制，建立全链条、全方位、全过程的质量技术基础服务体系，实现以质量基础为核心，标准协调、计量协同、检验检测协调、认证认可协同的产业链质量协同格局。加快建立重点行业全产业链标准图谱，丰富产业基础标准和强制性标准；加强区域产业链计量测试体系建设，实现计量从单台检测到立体支撑产业链的发展；合理整合检验检测机构的优势资源，注重产业链的检验检测能力建设，形成服务产业链的检验检测网络。建立以政府扶持为引导、企业投入为主体、多元社会资金参与的质量技术基础投入机制，提升资源配置效率，发展优质制造创新技术和示范产品。

**注：**本文内容呈现略有调整，若需可查看原文

林忠钦，机械工程专家，中国工程院院士，中国机械工程学会理事长，《机械工程学报》编委。

长期从事薄板产品制造工艺与质量控制技术研究，建立了中国汽车工业的制造质量控制技术，为提升中国汽车车身制造质量做出了重要贡献；提出了数字化封样技术，有效缩短了车身的开发周期，提升了开发质量，大幅度降低开发成本。建立了中国的汽车板使用技术，为国产汽车板替代进口板和高强度钢板批量使用做出了重要贡献；研究成果广泛应用于汽车、航空、航天、船舶等行业，创造了显著的社会效益和经济效益。近年来，从事中国制造质量与品牌战略发展研究和中国海洋装备科技发展战略研究，完成了一批国家战略研究报告。<sup>[7]</sup>