

# 新时期我国工业软件产业发展路径研究

邵珠峰<sup>1\*</sup>, 赵云<sup>2</sup>, 王晨<sup>3</sup>, 冯希光<sup>1</sup>, 王建民<sup>4</sup>, 熊虹婷<sup>2</sup>

(1. 清华大学机械工程学院, 北京 100084; 2. 山东大学国际创新转化学院, 山东青岛 266237;  
3. 大数据系统软件国家工程实验室, 北京 100084; 4. 清华大学软件学院, 北京 100084)

**摘要:** 工业软件产业是制造业高质量发展的重要支撑, 在新时期制造强国战略背景下, 工业软件成为优化制造与管理流程、变革生产方式与生产关系、提升全要素生产率、促进先进工业技术转化及溢出的直接动力。我国正在构建自主可控、安全高效的现代产业体系, 在挑战原有“技术-生产-市场”分工模式的同时, 也为工业软件产业发展创造了重要机遇。本文从当前国际市场格局出发, 分类解析了工业软件产品的基本特征与市场份额情况, 剖析了我国工业软件产业发展的不足与问题, 归纳了工业软件产业的平台化、开源化两大新发展趋势; 据此提出补短强基、追赶突破、卓越引领3条发展路径, 以期针对性补强产业不足、切实提升产业水平。研究建议, 优化组织模式, 发挥工业企业的主体带动作用; 细化政策对象, 分层次推进工业软件关键技术突破; 扩大应用市场, 促进工业软件产品创新; 挖掘人才潜能, 多渠道支持工业软件人才培养。

**关键词:** 工业软件; 系统集成; 产业瓶颈; 卓越引领工程

**中图分类号:** F424 **文献标识码:** A

## Development Path of China's Industrial Software Industry in the New Era

Shao Zhufeng<sup>1\*</sup>, Zhao Yun<sup>2</sup>, Wang Chen<sup>3</sup>, Feng Xiguang<sup>1</sup>, Wang Jianmin<sup>4</sup>, Xiong Hongting<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. School of Innovation and Entrepreneurship, Shandong University, Qingdao 266237, Shandong, China; 3. National Engineering Lab for Big Data Software, Beijing 100084, China; 4. School of Software, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The industrial software industry is an important support for the high-quality development of the manufacturing industry. Against the background of strengthening China's manufacturing industry in the new era, industrial software is becoming a direct driving force for optimizing manufacturing and management processes, transforming production methods and relations, improving total-factor productivity, and promoting the spillover and transformation of advanced industrial technologies. China is currently building an independent, controllable, safe, and efficient modern industrial system, which not only challenges the original "technology-production-market" division of labor, but also creates important opportunities for the development of the industrial software industry. Considering the current international market structure, this paper analyzes the basic characteristics and market share of industrial software products, analyzes the shortcomings and problems of China's industrial software industry development, and summarizes two new development trends of the industrial software industry: platform-based and open source development. Based on this, we propose the following three development paths: (1) improving weak links while strengthening basic research, (2) making technical breakthroughs to catch up with the international advanced level, and (3) leading the development

**收稿日期:** 2021-09-13; **修回日期:** 2022-01-13

**通讯作者:** \*邵珠峰, 清华大学机械工程学院副教授, 研究方向为索驱动并联机器人、智能装备与制造; E-mail: shaozf@mail.tsinghua.edu.cn

**资助项目:** 中国工程院咨询项目“新一代信息技术产业基础能力提升的主要内容和路径研究”(2020-ZD-11)

**本刊网址:** www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

with frontier technologies, hoping to address the industrial deficiencies and improve the industrial level. Furthermore, we propose several suggestions. First, the organizational model should be optimized to maximize the leading role of industrial enterprises. Second, the policy objects should be refined to promote the breakthrough of key technologies regarding industrial software at different levels. Third, the application market needs to be expanded to promote the innovation of industrial software products. Fourth, it is necessary to tap the potentials of talents and support the cultivation of industrial software talents through multiple channels.

**Keywords:** industrial software; system integration; industrial bottlenecks; leading the development with frontier technologies

## 一、前言

工业软件指工业领域的应用软件，是工业技术软件化的成果，其产业属性本质上归于工业门类；作为产业基础能力、制造业优化升级的重要组成部分，对我国未来制造业高质量发展起到支撑引领作用。工业软件的自主可控被视为产业发展与信息安全的重要基础。国家从发展需要与长远需求出发，将工业软件与石油天然气、基础原材料、高端芯片、农作物种子等并列，要求开展关键核心技术攻关。“十四五”规划明确了新时期深入实施制造强国战略的发展目标，对作为制造强国重要基础工具的工业软件发展提出了新的更高要求。

长期以来，我国工业软件产业发展面临双重压力，不仅受阻于自身发展困境，而且直接遭受国际工业软件产品冲击。关于工业软件产业发展研究，较多关注工业与软件行业发展规律的互动，如工业软件企业的竞争优势源于创新网络中各创新节点的分布与位置 [1]，平台化企业的资源优势能够较显著提高企业效率与创新能力 [2]。鉴于工业软件产业的特殊性，有研究针对软件行业与制造业的关系特征，围绕信息技术服务 [3]、两化融合 [4]、工业互联网 [5]、智能工厂 [6] 等主题，剖析工业软件产业的发展趋势与影响因素，揭示智能制造、工业互联网 [7]、自主化发展 [8]、物联网 [9] 都与工业软件存在紧密联系的客观事实。还有研究认为，工业软件正在重塑制造业 [10]；因工业软件在设计 and 制造活动中的基础性、承载性属性，一旦出现“卡脖子”环节或安全问题 [11]，相关短板将对国家产业安全构成全面危害 [12]。

工业软件是制造业发展的创新动力，驱动制造与管理流程优化、生产方式与生产关系变革、全要素生产率提升、先进工业技术溢出及转化，促进工业体系从“以装备为核心的工业”转向“软件定义

的工业”。为加速制造业向智能化、服务化、生态化发展的转型，实现工业软件产业的优化升级，本文全面分析工业软件在国内战略与国际竞争中的重要地位，从产业规模、国际厂商两方面阐述工业软件发展现状与趋势；厘清我国工业软件产业发展的主要挑战和机遇，探索性提出我国工业软件产业的发展路径，以期为行业发展研究提供基础参考。

## 二、工业软件产业在制造强国战略中的地位

### （一）工业领域自主可控发展的重要支撑

改革开放以来，我国出口拉动型的发展模式，客观上使得工业生产中的技术、市场等重要环节都依赖国外经济实体；我国参与国际分工的比较优势逐渐由要素价格转变为生产网络规模，国际市场的快速变化也给生产网络带来不可预测的冲击。近年来，世界经济经历了结构性变化，加之受新型冠状病毒肺炎（COVID-19）疫情的冲击，全球市场萎缩、保护主义上升；为了增强我国在再全球化变革中的主动性，需要形成以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局。“十四五”时期深入实施制造强国战略，需要加强产业基础能力建设，通过实施产业基础再造，补齐基础软件等瓶颈环节的短板。

云计算、物联网、新一代移动通信、人工智能（AI）、区块链等新一代信息技术快速发展并逐步转入应用，制造业向数字化、网络化、智能化方向转型发展，工业体系从“以装备为核心的工业”向“软件定义的工业”转变。工业软件被称为“工业之智”，是工业基础知识软件化的存在形式、实施工业活动的基础资源，在设计 and 制造活动中具有基础性、承载性。工业软件涉及先进工业制造技术、工程管理、计算机与软件等学科的深度交叉融合，同时软件产业的创新具有显著的网络效应，其发展依

赖工业与软件行业发展规律的互动。工业软件企业的竞争优势源于创新网络中各创新节点的分布与位置 [1]，其平台化企业资源的优势能够大幅度提高企业效率与创新能力。综合来看，发展工业软件就是发展工业产业基础、加强产业基础能力建设，工业软件的自主可控是产业安全与信息安全的基础保障，对深入实施制造战略强国意义重大。

制造业高质量发展对我国工业体系提出了新要求，原有“技术—生产—市场”分工模式面临新挑战；我国工业体系中工业软件的国际供应风险增加，科技创新活动（以工业软件为代表）的国内外分工结构正在发生功能性转变。这些情况的出现为我国工业软件产业优化升级提供了宝贵的窗口机遇期。近期全球化遭遇逆流，世界贸易组织（WTO）等多边贸易体制面临挑战，个别国家针对我国高科技领域进行恶意打击（工业软件成为重要的压制手段）。这就间接体现了工业软件在国家经济与产业安全方面的潜在作用及影响。

### （二）制造强国的重要增长点

国际品牌或大型企业在国际消费市场上针对产品特点进行业务分工：大型跨国企业整合全球供应链；技术领先企业进行研发与设计，同时提供相配套的工业软件及服务；国内企业进口原材料、高端零部件，在国内完成部件制造与系统集成，再实现整体或部分销售并流通进入海外消费市场。就我国而言，整个循环表现为国际依赖结构。因此，我国需要保障顺畅的国内大循环、实现工业循环的产业闭环，感知国际市场需求、吸收国际原材料，同时能够向国际循环提供产品与服务；通过工业软件等数字基础设施建设来补足研发设计、智能制造等环节的能力缺失，由此在双循环条件下实现制造强国目标。

制造强国强调培育良好的产业生态，充分发挥超大规模市场优势与内需潜力。2020年，我国工业增加值超过38万亿元 [13]，庞大的产业规模带来了对工业软件的可观需求。然而，我国工业软件市场规模相比发达国家存在不小差距，表现在市场规模的世界占比不超过10%，工业软件销售额远低于工业发达国家。例如，2018年我国工业增加值的世界占比接近30%，而工业软件市场规模的世

界占比仅约6%，存在明显的失配情况。着眼中长期，我国稳步从制造大国向制造强国迈进，较快的产业转型升级进程必将为工业软件产业带来广阔的增长空间，我国工业软件产业有望迎来规模庞大的“蓝海”市场。工业软件产业具有明确的规模市场优势和内需潜力，其重要性有望在制造强国战略中进一步显现。

## 三、国际工业软件发展现状与技术趋势

### （一）发展现状

在《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》（2016版）中，工业软件分为研发设计、生产管控、经营管理、工业互联网平台及工业应用程序（APP）4类。从全球工业软件市场格局看，美国、欧洲企业处于主导地位，把握着技术及产业发展方向。离散制造业领域最为关键的研发设计类软件，主要由达索系统集团（法国）、西门子工业软件股份有限公司（德国）、ANSYS股份有限公司（美国）、海克斯康集团（美国）等公司把控；生产控制类软件的高端市场，主要由西门子工业软件股份有限公司、欧姆龙集团（日本）、霍尼韦尔国际公司（美国）、艾斯本技术有限公司（美国）等公司占据；管理运营类软件的高端市场，主要由思爱普公司（德国）、甲骨文股份有限公司（美国）等公司占据。此外，在计算机辅助设计（CAD）软件方面，国际厂商技术成熟、优势明显，以达索系统集团、西门子工业软件股份有限公司、参数技术公司（美国）为代表；在计算机辅助工程（CAE）软件方面，国际厂商产品线完善且处于垄断地位，国内没有形成可持续发展及维护的大型软件；在电子设计自动化（EDA）软件方面，新思科技股份有限公司（美国）、楷登电子股份有限公司（美国）、明导国际公司（美国）垄断了整个市场，国内企业无法提供数字全流程解决方案来满足高端芯片设计需求。

全球工业软件的市场格局相对稳定，美国公司综合实力强、数量众多，德国、法国、英国、瑞典、荷兰、瑞士、意大利等国企业颇具特色，日本、韩国、印度的一些公司也不容忽视。随着AI的发展以及物联网技术的普及，工业软件的应用领域也在不断拓展，出现了一批工业物联网平台



(如 Predix、Mindsphere、Thingworx、Cumulocity、Uptake、ADAMOS)。与此同时,工业软件企业的并购与整合极为活跃,曾经专注细分领域的主流厂商不断收购跨专业的软件公司,并购与自主发展的“双轮战略”并重。例如,西门子工业软件股份有限公司近十年来的对外投资超过百亿美元,收购了众多工业软件公司(涉及UGS、Mentor、LMS、CD-Adapco、Mendix等产品),成为综合性工业软件企业。

工业制造成为国际产业竞争与合作的重要领域,工业产品的研发及制造与工业软件密不可分,因而工业软件是产业基础高级化、产业链现代化[14]的重要环节之一。工业软件行业发展分为3个阶段:一是软件的自身发展;二是软件的协同应用(即业务流程实现串通和优化阶段);三是“工业云”,即软件公司由向客户提供单一工具转向为客户提供“软件+服务”的整体解决方案。目前,国际厂商进入了第三阶段,以研发设计类软件为例,基本实现了软件自身的技术积累,在工业化实践中实现了软件的应用协同,正在重点发展“软件+服务”的整体解决方案。相比之下,国内企业整体解决方案提供能力仍存在明显不足,具有行业优势的国内企业屈指可数,整体状态可概括为“管理软件强、工程软件弱,低端软件多、高端软件少”。

## (二) 技术趋势

### 1. 工业软件加速实现平台化

制造业正处于数字化向网络化的过渡阶段,工业软件平台是这个阶段创新发展的核心关键。传统的独立工业软件逐步转向平台化,未来将成为软件平台服务的组成部分;充分利用平台的资源及优势,驱动软件自身的创新发展与生态构建,支持实现生产、经营、管理、服务等活动及过程的集成、互联、社会化协同。

以设计仿真一体化平台为代表的集成平台,具备从需求开始,覆盖产品设计、规划、制造、服务等全过程,实现基于模型的设计功能,充分提升设计制造一体化能力,据此提效降本。以西门子Teamcenter为例,作为基于工业互联网的应用与服务型平台,通过构建连接机器、物料、人、信息系

统的基础网络,实现工业数据的全面感知、动态传输、实时分析,支撑精准决策与智能控制,提高制造资源配置效率。对于以低代码开发为特征的开发型平台,通过组态式低代码量开发技术,将复杂的信息技术栈封装起来;面向交互、数据两个维度,通过可配置方式提升终端工程师的开发效率;降低企业应用开发人力成本,降低工业软件的开发门槛,缓解行业人才紧缺的现状。

随着平台化进程的深入,工业软件正向云端迁移,逐渐走向云部署。新一代移动通信、大数据、云计算技术的发展,为工业软件云化提供了坚实支撑。工业软件向云端迁移的趋势明显,部署模式从企业内部转向私有云、公有云、混合云,软件架构从紧耦合转向松耦合并表现为组件化、平台化、服务化,运行平台从以个人计算机为主转向支持多种移动计算设备。

### 2. 工业软件逐渐走向开源化

开源软件、开源社区具有强大的创造力和生命力,逐步发展成为技术创新、产业发展的重要模式。例如,对于大数据、云计算、AI等技术,国际上普遍采取了开放源代码的发展方式,依靠开源社区进行快速迭代;开源软件所具有的复杂度、多年技术积累形成的壁垒,都决定了依靠单一厂商的自主研发很难实现全面突破。相应地,工业软件的开发环境已从封闭、专用平台转向开放、开源平台。通过开源软件方式,将更多的开发资源、用户资源纳入工业软件产品的创新体系,汇聚智慧、用好人才,加快工业软件模块、组件、工具箱的创新性开发与分布式验证。

在我国,开源软件的发展环境正在显著改善。首先,高等教育的持续发展以及互联网产业的高速演进,积累了大量的潜在开发者,人力优势逐步由工人群众体转向工程师群体;开放性、便于使用的开发工具与技术迅速被大量开发者所掌握(并积极参与其中),促进了开源工业软件用户基础的形成与壮大。其次,制造业体量庞大、应用场景类型众多,产生了海量的工业数据,数据资源成为工业转型升级的重要驱动力;随着国际市场竞争加剧,开源软件为我国工业企业规避潜在“卡脖子”问题提供了新选择,也为国产软件行业成长赋予了新动力。

#### 四、我国工业软件产业发展态势与面临挑战

##### (一) 发展态势

工业经济的快速发展、两化融合的深入实施，为我国工业软件产业带来了宝贵的发展机遇。在相关政策的精准扶持、以国家科技重大专项为代表的一系列项目的直接支持下，我国工业软件产业保持了高速发展态势；初步形成了国产工业软件产品体系，覆盖汽车、工程机械、航空航天、电子、家电、海洋装备等多个领域；具备了一定的产业技术研发能力与服务支持能力，开始由引进应用转向自主研发、特色发展。

从市场规模看，2020年我国工业软件产品实现收入1974亿元，2012—2020年工业软件产品收入年复合增长率达20.3%（见图1）；但市场规模的世界占比仍然不高，也间接表明了随着工业经济发展而蕴含的极大发展潜力。

从产业布局看，我国工业软件呈现管理软件强、工程软件弱的基本特征，高端软件明显不足。一方面，国产工业软件在运营管理领域（如生产管理、客户服务、综合管理）发展较好，而在以CAE、EDA为代表的研发设计类领域发展水平滞后；另一方面，国产工业软件在中低端市场占有率较高，

而在不少高端领域仍是空白。

从供给能力看，我国正在涌现出一批具有良好研发能力的工业软件企业。例如，广州中望龙腾软件股份有限公司的二维CAD、三维CAD/计算机辅助制造（CAM）软件在国际市场具有一定的影响力；安世亚太科技股份有限公司在仿真软件方向具有持续性积累，自主研发产品得到应用行业认可；用友、金蝶、浪潮等品牌的企业资源计划（ERP）软件成为国内市场的主力军，相关产品的云战略转型正在实施。

从发展态势看，工业互联网的带动作用日益显现，国内企业采取加强平台建设、汇聚开发资源、培育并部署工业APP等措施积极向云服务转型的趋势较为明显。也要注意，在面向制造业的产品创新数字化软件方向，相关开发企业的规模较小，还未出现上市公司。

##### (二) 面临的挑战

1. 研发设计环节技术壁垒高，核心技术的国际依赖性明显

工业软件产业较发达的国家都是完成了工业化进程的工业强国，相应的工业软件配套体系完善。相比之下，我国工业软件产业的基础能力薄弱，正

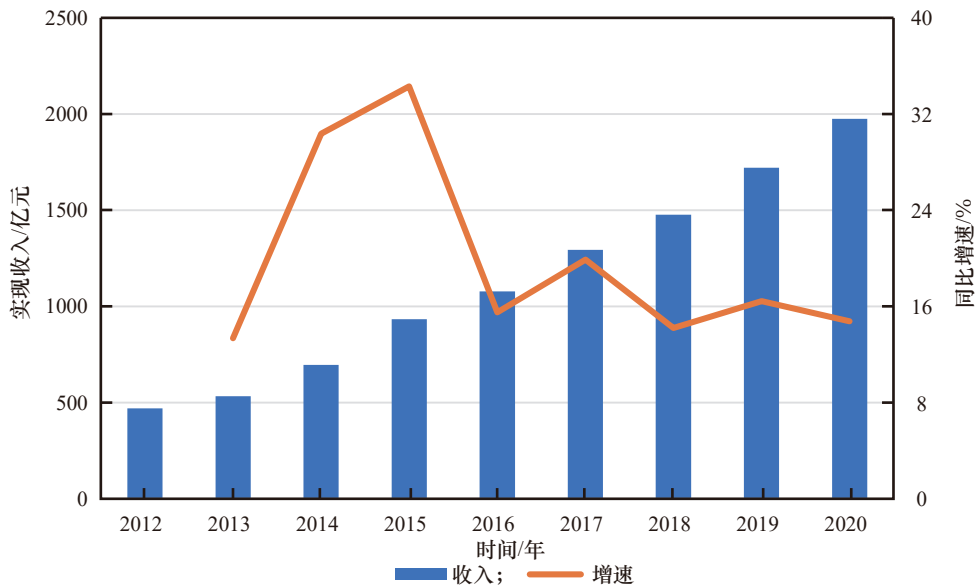


图1 我国工业软件市场规模演变情况（2012—2020年）  
注：数据来源于工业和信息化部公告、中国电子信息产业统计年鉴（电子篇）。

向研发设计能力存在不足。工业软件研发涉及工业制造技术、工程管理、应用数学、计算机与软件等学科的交叉融合 [15], 唯有多类创新主体 (与学科) 的共同参与才能促进工业软件的技术进步与产品创新 [16]。虽然我国产业体系几乎覆盖了全部工业产业大门类, 但在诸多细分方向上存在关键环节的供给与需求被少数国际企业所掌握的现象。从粗粒度的产业循环角度看, 我国产业体系是完整的, 具有全面的工业需求; 但在供给侧, 多个方向存在较大缺口, 对国际供应依赖性较强。例如, 我国研发设计类工业软件的国产化率较低 (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, 导致各类型资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、科研机构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。

#### 利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

**Received date:** September 13, 2021; **Revised date:** January 13, 2022

**Corresponding author:** Shao Zhufeng is an associate professor from the School of Mechanical Engineering, Tsinghua University. His major research field is cable-driven parallel robots, intelligent equipment and manufacturing. E-mail: shaozf@mail.tsinghua.edu.cn

**Funding project:** Chinese Academy of Engineering project “Research on the Main Content and Path of Improving the Basic Capabilities of the New Generation Information Technology Industry” (2020-ZD-11)

## 参考文献

- [1] Kim H D, Lee D H, Choe H, et al. The evolution of cluster network structure and firm growth: A study of industrial software clusters [J]. *Scientometrics*, 2014, 99(1): 77–95.
- [2] Ge C M, Huang K W, Kankanhalli A. Platform skills and the value of new hires in the software industry [J]. *Research Policy*, 2020, 49(1): 1–15.
- [3] 韩宝国, 李世奇. 软件和信息技术服务业与中国经济增长 [J]. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(11): 128–141.  
Han B G, Li S Q. Software and information technology service industry and China's economic growth [J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2018, 35(11): 128–141.
- [4] 张辽, 王俊杰. 中国制造业两化融合水平测度及其收敛趋向分析——基于工业信息化与信息工业化视角 [J]. 中国科技论坛, 2018 (5): 32–40.  
Zhang L, Wang J J. Measurement on integration level of informatization and industrialization of China's manufacturing industry and its convergence trend [J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2018 (5): 32–40.
- [5] 魏津瑜, 李翔. 基于工业互联网平台的装备制造企业价值共创机理研究 [J]. 科学管理研究, 2020, 38(1): 106–112.  
Wei J Y, Li X. Research on value co-creation mechanism of equipment manufacturing enterprises based on industrial Internet platform [J]. *Scientific Management Research*, 2020, 38(1): 106–112.
- [6] 褚健, 谭彰, 杨明明. 基于工业操作系统的智能互联工厂建设探究 [J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(12): 3026–3031.  
Chu J, Tan Z, Yang M M. Construction of intelligent Internet factory based on industrial operating system [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2019, 25(12): 3026–3031.
- [7] 陶永, 蒋昕昊, 刘默, 等. 智能制造和工业互联网融合发展初探 [J]. 中国工程科学, 2020, 22(4): 24–33.  
Tao Y, Jiang X H, Liu M, et al. A preliminary study on the integration of intelligent manufacturing and industrial Internet [J]. *Strategic Study of CAE*, 2020, 22(4): 24–33.
- [8] 董豪, 邓昌义. 以多元化投入促进自主工业软件发展 [J]. 中国科技论坛, 2020 (9): 13–15.  
Dong H, Deng C Y. Promoting the development of independent industrial software with diversified investment [J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2020 (9): 13–15.
- [9] 王建平, 曹洋, 史一哲. 物联网软件产业链研究 [J]. 中国软科学, 2011 (8): 27–32.  
Wang J P, Cao Y, Shi Y Z. Analysis of IoT software industrial chain [J]. *China Soft Science*, 2011 (8): 27–32.
- [10] 黄培. 工业软件正在重塑制造业 [J]. 变频器世界, 2018 (10): 24–25.  
Huang P. Industrial software is reshaping the manufacturing industry [J]. *The World of Inverters*, 2018 (10): 24–25.
- [11] 陈硕颖, 杨扬. 我国基础软硬件产业的“生态”瓶颈及突破 [J]. 经济纵横, 2018 (11): 103–110.  
Chen S Y, Yang Y. The bottleneck of the network ecology of China's basic software & hardware industry and its breakthrough [J]. *Economic Review*, 2018 (11): 103–110.
- [12] 梁怀新. 基于CiteSpace的我国国家安全研究知识图谱分析 [J]. 情报杂志, 2019, 38(6): 23–29.  
Liang H X. CiteSpace-based knowledge map analysis of national security research in China [J]. *Journal of Intelligence*, 2019, 38(6): 23–29.
- [13] 国家统计局. 中华人民共和国2020年国民经济和社会发展统计公报 [R]. 北京: 国家统计局, 2020.  
National Bureau of Statistics. Statistical bulletin of national economic and social development of the People's Republic of China in 2020 [R]. Beijing: National Bureau of Statistics, 2020.
- [14] 朱明皓, 张志博, 杨晓迎, 等. 推进产业基础高级化的战略与对策研究 [J]. 中国工程科学, 2021, 23(2): 122–128.  
Zhu M H, Zhang Z B, Yang X Y, et al. Strategy and countermeasure research on industrial foundation upgrading [J]. *Strategic Study of CAE*, 2021, 23(2): 122–128.
- [15] 黄宾, 徐维祥, 刘程军. 中国软件产业的空间联系、演化特征及其经济增长效应 [J]. 经济地理, 2018, 38(10): 13–20.  
Huang B, Xu W X, Liu C J. Spatial connection, evolution characteristics and economic growth effect of Chinese software industry [J]. *Economic Geography*, 2018, 38(10): 13–20.
- [16] 张培, 夏立真, 马建龙, 等. 多维信任、知识转移与软件外包绩效 [J]. 科研管理, 2018, 39(6): 169–176.  
Zhang P, Xia L Z, Ma J L, et al. Multi-dimension trust, knowledge transfer and software outsourcing performance [J]. *Scientific Research Management*, 2018, 39(6): 169–176.