

新时期我国工业软件产业发展路径研究

邵珠峰, 赵云, 王晨, 冯希光, 王建民, 熊虹婷

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。

中国工程院院刊《中国工程科学》2022年第2期刊发清华大学邵珠峰副教授研究团队的《新时期我国工业软件产业发展路径研究》一文。文章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。文章建议, 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。

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, 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。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、两化融合、工业互联网、智能工厂等主题, 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、自主化发展、物联网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; 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, 相关短板将对国家产业安全构成全面危害。

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

基金项目: 中国工程院咨询项目

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,在设计和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,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需求特点进行业务分工: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,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

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。在相关产业政策的精准扶持、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，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。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



图1

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）。