

工业软件国产化替代创新突破路径与激励机制

周雄伟, 肖咏龙, 杨鑫浩

中南大学商学院, 长沙 410012

摘要 为应对美国对中国工业软件发展的打压, 探索工业软件的国产化替代道路, 针对研发设计软件、生产控制软件、经营管理软件及嵌入式软件4种工业软件类型, 整理了其发展现状与国产化替代程度, 并从“有”和“用”的方面分析了各类国产工业软件存在的问题; 归纳总结了美国、德国、法国等世界工业软件强国的发展历程和借鉴经验; 聚焦“有”和“用”2个方面, 分别提出设计创新突破路径和构建应用激励机制的对策; 系统提出工业软件国产化替代多方位政策建议。

关键词 工业软件; 国产化替代; 创新; 突破路径; 激励机制

工业软件指专用于或主要用于工业领域, 为提高工业企业研发、制造、生产管理水平和工业装备性能的软件。工业软件作为工业制造的大脑和神经, 其发展水平直接决定工业领域制造高度, 是工业领域的皇冠, 高端工业软件更是皇冠上的璀璨明珠^[1]。《中国制造2025》提出要突破高端工业软件核心技术, 开发自主可控的高端工业平台软件和重点领域应用软件, 推进自主工业软件体系化发展和产业化应用。

长期以来, 中国十分重视国产工业软件的发展, 特别是, 近年来相继颁布了一系列支持国产工业软件发展的政策(表1), 由于工业软件研发的高门槛使国外工业软件巨头具有天然的垄断优势, 加

之国内工业化进程相对落后, 导致工业软件国产化替代成效有限。此外, 自中美贸易摩擦以来, 美国对中国先进制造业的发展出台了一系列管制措施, 工业软件成为“卡脖子”的重点领域。当下, 中国拥有全世界最庞大的工业体系, 但国产工业软件却面临处处受制于人的困境, 随着中美冲突的持续发酵与升级, 党的二十大提出“统筹发展与安全”的要求, 近期国家更是将工业软件列为“十四五”重点研发计划重点专项, 如何实现工业软件的国产化替代已不仅是一个经济命题, 更是一个安全命题。

本研究认为工业软件的国产化替代是一个“有”与“用”循环促进的过程。基于产品用途, 可以将工业软件分为研发设计软件、生产控制软件、经

收稿日期: 2022-11-29; 修回日期: 2023-01-31

基金项目: 国家社会科学基金重点项目(21AZD117)

作者简介: 周雄伟, 教授, 研究方向为数字经济和新兴技术的运营与供应链管理、电子商务、信息管理与系统, 电子信箱: daweycs@126.com

引用格式: 周雄伟, 肖咏龙, 杨鑫浩. 工业软件国产化替代创新突破路径与激励机制[J]. 科技导报, 2023, 41(6): 34-46; doi: 10.3981/j.

issn.1000-7857.2023.06.004

表1 中国工业软件发展相关政策

时间	相关政策	针对工业软件的主要内容
2015年5月	《中国制造2025》	开发安全领域操作系统等工业基础软件,开发自主可控的高端工业平台软件和应用软件,建立工业软件集成标准和安全评测体系
2016年5月	《国务院关于深化制造业与互联网融合发展的指导意见》	加快计算机辅助设计仿真、制造执行系统、产品全生命周期管理等工业软件产业化,强化软件支撑和定义制造业的基础性作用
2016年9月	《智能制造发展规划(2016—2020年)》	做优做强一批传感器、智能仪表、控制系统、伺服装置、工业软件等“专精特新”配套企业
2017年11月	《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》	集中突破一批高性能网络、智能模块、智能网联装备、工业软件等关键软硬件产品与解决方案
2018年9月	《关于发展数字经济稳定并扩大就业的指导意见》	建立健全工业互联网基础设施体系,大力发展核心工业软件,推动传统制造业加快数字化转型
2019年9月	《工业和信息化部关于促进制造业产品和服务质量提升的实施意见》	实施工业强基工程,着力解决基础零部件、电子元器件、工业软件等领域的薄弱环节,弥补质量短板
2021年1月	《工业互联网创新发展行动计划(2021—2023年)》	提升技术创新能力,提升工业芯片、工业软件、工业控制系统等供给能力
2021年3月	《关于加快推动制造服务业高质量发展的意见》	加快发展工业软件、工业互联网,培育共享制造、共享设计和共享数据平台
2021年3月	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》	工业基础软件与传统“四基”合并为新“五基”;工业互联网列入数字经济重点产业
2021年11月	《“十四五”软件和信息技术服务业发展规划》	研发推广计算机辅助设计、仿真、计算等工具软件,大力发展关键工业控制软件,加快高附加值的运营维护和经营管理软件产业化部署。面向重大技术装备以及重点领域需求,发展行业专用工业软件
2021年12月	《“十四五”智能制造发展规划》	到2025年智能制造装备和工业软件技术水平和市场竞争力显著提升,市场满足率分别超过70%和50%
2021年12月	《“十四五”数字经济发展规划》	集中突破高端芯片、操作系统、工业软件、核心算法与框架等领域关键核心技术,加强通用处理器、云计算系统和软件关键技术一体化研发

营管理软件及嵌入式软件四大类,其中研发设计类最为关键核心^[2]。考虑到国产工业软件在这4种类型的发展上特性各异,因此需要有针对性地进行现状梳理和问题分析。此外,通过与国际领先水平进行对比,本研究将工业软件国产化替代程度分为“起跑”“跟跑”“领跑”3个发展水平,以系统厘清各类型工业软件国产化替代程度。

由此,本研究通过梳理4类工业软件的发展现状与国产化替代程度,并从“有”和“用”的角度,即“有没有”“愿不愿用”“好不好用”,分析了中国各类工业软件发展中存在的问题。通过回顾美国、德国和法国等领先国家的工业软件发展历程,提炼出可

供中国工业软件发展借鉴的国际经验;结合中国国情与国产工业软件发展现状及问题,通过分别设计面向国产工业软件领军企业、国内工业龙头企业和国内高校三大工业软件创新主体的创新突破路径,为解决工业软件国产化替代“有”的问题提供对策建议,以保障工业软件的“自主可控和安全可靠”;基于市场调控机制,通过分别构建面向政府和市场的激励应用机制,为解决工业软件国产化替代“用”的问题提供对策建议,以保障国产工业软件“高效可用”;从基础工作、多方协作平台、政策保障体系和生态循环4个方面,对工业软件国产化替代提出相关政策建议。

1 中国工业软件国产化替代发展现状和存在问题

1.1 中国工业软件发展现状

总体来看,近年来中国工业软件发展迅速,目前工业软件相关专利申请数量全球占比第一,占全球总量的59.33%。2016—2021年国产工业软件市场规模持续增长,由168亿美元到340亿美元,2021年增速更是高达24.8%^[3]。但相比于2021年全球工业软件市场规模超4560亿美元而言,国产工业软件市场规模仍显不足,占比不到全球总量的8%^[4],如图1所示,显然无法满足当前中国工业体系(占全球总份额30%^[5])发展的需要,更无法与实现中国制造业向高端化和智能化转型相匹配。另一方面,自中美贸易摩擦以来,国产工业软件“卡脖子”现象严峻,工业软件成为美国制裁中国工业发展的一大软肋,遭受打击日趋严重。2018年5月,美国对中兴、华为实施制裁,其中包括对芯片设计软件的封禁;2020年6月,美国封禁了中国13所高校MATLAB软件的使用;2022年8月,美国更是对中国EDA(electronic design automation)软件彻底断供。当前,中国工业软件行业格局发展不平衡,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”^[6],产品对工业属性的要求越高其市场占有率就越低,如图2所示;工业软件经营管理类国产化率高,而研发设计类呈现高度的进口依赖,其国产化替代需求紧迫。

工业软件可分为研发设计软件、生产控制软件、经营管理软件及嵌入式软件4大类,下文将分别对中国各类工业软件国产化现状进行梳理。

研发设计类工业软件主要用于帮助企业提升产品研发能力和效率,通过模拟仿真降低研发成本,包括CAD(computer aided design)、CAE(computer aided engineering)、CAM(computer aided manufacturing)、PDM(product data management)、EDA等,是工业软件中最为关键的部分。目前,中国研发设计类工业软件总体国产化率不足10%^[7],与国际领先水平相比,国产厂商基本处于起步水平。国内代表企业有广州中望龙腾软件股份有限公司、北

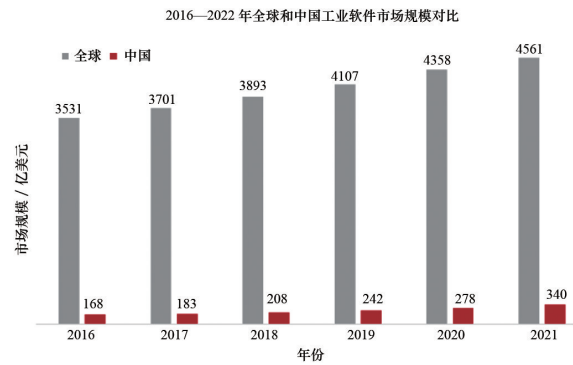


图1 中外工业软件行业市场规模
(数据来源:工信部运行监测协调局等)

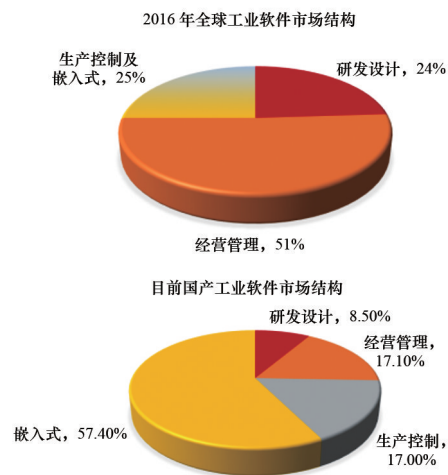


图2 国内外各类工业软件市场结构
(数据来源:华经产业研究院等)

京华九天科技股份有限公司、北京数码大方科技股份有限公司等,国外代表企业有达索(Dassault)、西门子(Siemens)、新思科技(Synopsys, Inc.)等。以EDA为例,国产化率不足5%^[2],国内EDA市场销售被新思科技、楷登电子(Cadence Design Systems)和明导(Mentor Graphics)三巨头垄断,2021年Synopsys年度营收超31亿美元^[8],而华九天年总营收仅为0.89亿美元。

生产控制类工业软件主要用于对生产设备和自动化产线进行管控,目的是进行数据收集和运行安全控制,包括MES(manufacturing execution system)、APS(advanced planning and scheduling)、SCADA(supervisory control and data acquisition)、DCS(distributed control system)等。国内代表企业

有上海宝信软件股份有限公司、浙江中控技术股份有限公司、上海柏楚电子科技股份有限公司等,国外代表企业有西门子、霍尼韦尔(Honeywell International)、通用电气(General Electric Company)、罗克韦尔(Rockwell International Corporation)等。虽然生产控制类工业软件国产化率已达50%^[9],一部分国内厂商已处于跟跑水平,但国内厂商仍主要集中在中低端细分市场,缺乏为智能工厂提供整体数字化解决方案的能力,高端市场仍主要由西门子、艾斯本(AspenOne)、欧姆龙(OMRON Corporation)等公司占据^[6]。

经营管理类工业软件主要用于进行企业业务流程信息化管理,用于提升企业的管理效率和运营水平,包括ERP(enterprise resource planning)、CRM(customer relationship management)、SCM(supply chain management)、EAM(enterprise asset management)等。国内代表企业有用友网络科技股份有限公司、金蝶国际软件集团有限公司、浪潮集团有限公司、鼎捷软件股份有限公司等,国外代表企业有SAP公司、赛富时(Salesforce, Inc.)、甲骨文有限公司(Oracle Corporation)、微软(Microsoft)等。相对来讲,经营管理类工业软件不涉及太多工业知识和工艺流程,且在中国起步较早,虽然目前大部分国产厂商与国际领先水平相接近,如金蝶等公司的产品应用在国内市场已经较为普遍,但在高端市场仍需要进一步发展。

嵌入式工业软件是指在工业领域中嵌入在硬件中的操作系统和开发工具软件,用于实现对设备的控制、监管和操作等功能。国内代表厂商包括华为技术有限公司、海尔集团公司、深圳市腾讯计算机系统有限公司等,国外代表厂商有ABB(Asea Brown Boveri Ltd.)、西门子等。目前来看,嵌入式工业软件国产化率较高,中国已出现一部分如华为、海尔等本土企业进入国际领跑水平。

在大国博弈愈演愈烈、科技竞争属性愈发严峻的当下,研发设计类工业软件直接关乎工业领域创新的源头,更是面临被欧美封锁的危机,如表2所示,是当前工业软件亟需实现国产化替代的重心。

表2 各类型国产工业软件发展水平

类型	起跑	跟跑	领跑
研发设计类	*****	—	—
生产控制类	***	**	—
经营管理类	*	****	—
嵌入式	*	**	**

注:*代表该类工业软件所处发展水平,越多表示此类工业软件处于该发展水平的比例越高。

1.2 中国工业软件国产化替代存在问题

工业软件既要立足工业场景开发,又要在工业应用中不断试错和积累来寻求发展和突破,属于典型渐进式创新。技术竞争理论指出渐进式技术自我增强机制是“研发投入增加-技术进步-市场份额扩张-利润提升-增加研发投入”的循环^[10]。因此,本研究认为实现工业软件的国产化替代,一方面,需要通过研发投入和技术进步解决“有”的问题;另一方面,需要通过市场扩张和利润提升解决“用”的问题,是一个“有”与“用”循环促进的过程。

中国各类型工业软件国产化替代在“有”与“用”上存在的问题不尽相同,接下来具体分析各类型工业软件在国产化替代上存在的问题。

研发设计类工业软件存在的问题集中体现“没有”2个字上,就“有没有”来说,不仅高端领先的没有,就连中低端市场中也极少见到国产企业的身影。几乎无国产研发设计类工业软件可用,“愿不愿用”和“好不好用”自然还没有成为当下需要考虑解决的问题。主要问题在于:(1)研发设计类工业软件工业属性和创新属性极高,在研发投入方面其具有“研发难、投入大、周期长”的产品特性,如美国CAE软件厂商ANSYS,研发强度达到19.7%,其一年的研发投入近3亿美元^[11],西门子工业软件股份有限公司更是在近10年内持续投入超百亿美元^[6]。反观中国,一方面,缺乏持续且充足的财政支撑,虽然出台了一系列鼓励工业软件发展的相关政策,但实际划分到工业软件的财政支撑并不多^[12],专项用于国产研发设计类工业软件发展的就更少;另一方面,一款工业软件的成功离不开背后一套成熟先进具有创造力的工业体系的支撑^[13],而由于国内工业

体系长期的“进口式”升级,向国外工业龙头长期采购捆绑的成套工业设备和软件,不仅形成了严重的用户依赖,并且使得本土工业龙头企业缺乏创新意识。(2) 研发设计类工业软件的研发离不开研发设计人员的创新。当下,一方面,国内研发设计人员几乎全部使用的是已经成生态的国外研发设计工业软件体系,在进行研发创新时很难跳出原有的环境与框架;另一方面,当前国内高校教育缺乏对工业软件复合型人才的培养,例如,EDA 软件的研发需要研发人员具备包含电子设计、仿真、验证、制造全过程中如系统设计与仿真、集成电路(IC)版图设计、专用集成电路(ASIC)设计等所有技术,而目前大多数高校未开设对口专业,缺乏相关理论与实践课程以及对应培养体系和机制。

生产控制类工业软件在“有”与“用”2 个方面均存在的问题。(1) 从“有没有”来说,当前国产生产控制类工业软件主要集中在中低端市场,国产厂商面临没有高端产品的尴尬窘境。一方面,国内生产控制类工业软件厂商由于自身规模受限,并不具备设计覆盖工业全流程的数字化解决方案的能力,只能做一些小领域的专项产品;另一方面,只有从领先的工业体系中提炼理论与经验才能引领工业软件的研发突破,打造领先的工业软件产品,而当前国内工业领域大多厂商并未完成甚至尚未开启制造业向高端化和智能化的转型。(2) 从“愿不愿用”来说,当前美国对中国工业软件领域的打压更多集中在研发设计类软件领域,相对而言,生产控制类工业软件并未受到严重的制裁,因此国内普遍对生产控制类工业软件缺乏实现自主可控的安全意识。此外,国内中高端市场长期被西门子、艾斯本、欧姆龙等公司垄断,基于品牌效应和用户依赖,本土工业厂商往往不愿选择国产产品。从“好不好用”来说,国产生产控制软件企业只得长期服务于中小型工业企业,这些企业缺乏发展资金和经验积累,因此极难实现技术突破和业务升级,无法提供具有国际竞争力的好用产品。

经营管理类工业软件和嵌入式工业软件存在的问题则更集中体现在“不好用”的方面,虽然两者有所区别,但共性在于2 类国产工业软件的产品均表现出工业属性弱的特征。(1) 经营管理类工业软

件虽然在国内市场的国产化率已经达到70%,但国产产品在属性上很明显更偏重于“管理”属性,国产产品侧重于一般化公司业务流程的信息化,而忽视专属于工业流程的信息化,难以迈进工业领域的高端。(2) 中国嵌入式工业软件领域虽然一部分企业已经处于国际领跑水平,但实际上这些企业都属于“IT”企业,因此其产品的软件属性要远大于工业属性,难以替代西门子、达索等工业龙头产品在工业软件领域的霸主地位。

综合4 大类国产工业软件“有”与“用”两方面的现实问题,在“有”的方面存在的共性问题可从创新主体层面进行概括,即最直接的是工业软件企业缺乏行业资源的整合与规划,最核心的是工业龙头缺乏入主发力、自主创新意识,而最根本的则是高校缺乏工业软件复合型人才的培养。在“用”的方面存在的共性问题则可从市场调控层面进行概况,即当前中国工业软件的发展,一方面缺乏政府端大力且持续的政策激励和支持,另一方面缺乏市场端的积极应用和试错更新。

2 工业软件发展的国际经验

美国、德国、法国是全球领先的工业软件强国,其工业软件发展路径和实践经验对中国工业软件实现国产化替代具有重要借鉴意义。为此,参考文献^[14]的研究成果,结合美国、德国、法国工业软件发展的重点领域,依次对各国工业软件的发展历程进行回溯,并从发展主体和主要措施方面总结其对中国工业软件国产化替代的经验借鉴。

2.1 美国工业软件发展经验

美国工业软件尤以最为关键核心的研发设计类工业软件优势突出,在建模、仿真、模拟和分析的高性能计算等领域始终保持世界领先。国家战略投资计划的引领、从基础研究到应用转化再到商业应用的完善科技产业链条、半导体研究共同体框架下的协同创新体系,使得美国工业软件领先全球。

2.1.1 美国工业软件发展历程

研发奠基阶段,国防和军方需求创造了CAD、CAE 等核心研发设计类工业软件的从无到有。20 世纪50 年代起,美国政府为在冷战中保证国防安

全并保持竞争优势,大力发展航空航天、国防科技和国防工业,为软件研发提供持续且充足的国家投入,开创 CAD、CAE 等多款经典工业软件先河。1949年,苏联引爆了自己的第一颗原子弹,随后美国为确保自身安全,耗资 120 亿美元引入大型防空系统 SAGE (semi-automatic ground environment),并从中孵化出光笔交互技术。之后 IBM (International Business Machines Corporation) 和 LMT (Lockheed Martin Space Systems Company) 公司将光笔交互技术在汽车和飞机工程绘图领域加以应用,开发出最早的 CAD 和 CAM 系统。在 CAE 软件领域,1966年,美国国家航空航天局为解决结构分析在宇航工业中的迫切需求,开发出著名有限元分析软件 Nastran。1971年,MSC Software 公司基于 Nastran 进行改良,推出自己的专利版本 MSC.NASTRAN,美国 CAE 软件由此发展起来。

高速发展阶段,美国国家计划推动美国工业软件应用迅速推广。20世纪 70—90 年代,计算科学的发展引起了美国国家科学基金会 (NSF) 等美国政府机构的高度重视,美国政府通过各种国家战略投资计划推动众多科学计算基础设施建设,实施大量工业软件产业培育举措。例如,20世纪 70 年代,NSF 资助了“计算机科学与工程研究”项目;1983 年美国国防部、能源部和航天局联合主持讨论“拉克斯报告”;1984 年 NFS 建立“先进科学计算办公室”,5 年内累计拨款 2.5 亿美元;1991 年美国国会通过“高能计算与通信 (HPCC)”总统行动计划;1995 年美国实施“加速战略计算创新 (ASCI) 计划”;1995 年 10 月,美国国防部制定《国防部建模与仿真主计划》,同时美国国家航空航天局通过分级分类等方式适当开放软件目录,积极开展“技术转移计划”。在这些国家计划的推动下,美国军方和政府等国家机构为美国 CAD、CAE 产业的发展创造了充足资金支持和稳定市场需求,美国工业软件企业和产品如雨后春笋般争相问世,极大推动了美国工业软件商业应用的发展。

全面领先阶段,国家战略投资计划的持续发力实现美国工业软件的全面领先。2010 年 8 月,美国总统奥巴马签署《制造业促进法案》,揭开美国“再工业化”序幕,在“再工业化”浪潮中,美国政府尤其

重视建模仿真技术在制造业发展中的作用,以先进制造为战略牵引,促使工业软件的发展效能带动其他经济领域的全面繁荣。同年,美国国防部 Man-Tech 计划新增先进制造企业 (AME) 专栏,并将 MBE 纳入“制造企业建模和仿真”板块。2012 年,美国发布《国家先进制造战略计划》,明确重点发展数字模拟分析技术。2018 年,为扶持工业软件企业以稳固美国在 EDA 软件领域的技术霸主地位,美国国防部推出“电子复兴计划”,斥资 15 亿美元,其中 EDA 软件拿到同级项目中金额最多的支持^[15]。在工业软件发展方面,美国政府始终高度重视,从未停止政策支持和资金投入,持续高强度的国家战略投资计划使美国在工业软件领域持续保持领先。

2.1.2 美国工业软件经验借鉴

在发展主体方面,美国工业软件发展历程中,美国军方和政府从保障国土安全和维护霸主地位出发,为美国工业软件发展提供了源头动力,支持着美国工业软件市场的核心需求,由“政用军用”转“商用民用”引领美国工业软件持续升级。此外,以满足国家战略和保持制造业竞争力为导向,重点发展建模、仿真、模拟和分析的高性能计算等领域的工业软件,由顶尖大学、国家实验室和行业领先公司组成的半导体制造技术研究联合体 (SEMATECH) 也起着重要作用。相比较而言,基于中美两国体制差异,中国工业软件市场中军方和政府的需求拉动作用仍存在较大上升空间,而在研究联合体组建方面,中国更是亟需发力。

在主要措施方面,推动构建半导体研究共同体和实施各种成果转化机制促进美国工业软件发展,持续且高强度的国家战略投资计划更是起着至关重要的作用。美国在国家层面高度重视科学计算和建模仿真等关键技术,制定国家战略投资计划^[15],为工业软件研发提供持续而充足的国家投入。在国家战略投资计划引领下,政府与涵盖顶尖高校与领先公司的半导体研究联合体,整合资源进行产业共性技术创新,突破工业软件关键技术。通过实施军民一体化发展,美国将大量军用技术成果引入产业界,实现工业软件产业化并开拓市场。相对美国来说,中国针对工业软件的国家战略性计划有所欠缺,军民一体化发展机制仍有待加强与完善。

2.2 德国工业软件发展经验

德国工业软件发展以满足德国工业自身需求,强化“德国制造”为导向,重点发展嵌入式系统、数控系统、汽车控制模块、自动化控制软件等。德国通过对接强势机械工程与制造业,工业软件产品往往与高端机械设备进行捆绑,因此在嵌入式和生产控制类等领域称霸市场;但也导致德国通用工业软件发展的短板,只得通过高度嵌入全球化的策略进行弥补,其通用工业软件市场大多以美国和法国的软件为主导。

2.2.1 德国工业软件发展历程

在德国工业软件企业中缺乏大型IT公司,只有西门子和SAP两家独大,众多德国中小型工业软件企业产品以专业化的“嵌入”为主,因此少有被用户熟知的通用型工业软件产品,但不可否认德国仍属于工业软件强国。此外,与美国不同,德国工业软件发展中起主导作用的更多是企业而非政府。由于在德国IT产业中工业软件占主导作用,因此德国政府更多的是从促进IT产业整体发展的角度进行政策激励,没有出台专门鼓励工业软件行业发展的相关政策。

低靡阶段,早期德国工业软件由于发展重心失衡导致错失了发展机会。以德国的CAD软件发展为例,20世纪七八十年代,德国以数控基础和柔性制造作为其CAD软件发展的重点领域,但具备通用性的CAD软件的早期发展大多依托于大型的航空工业庞大且稳定的需求带动。因此,虽然在20世纪七八十年代德国的ISYKON公司和弗劳恩霍夫协会生产设备和设计技术研究所等也研发了一些早期的CAD产品,但由于在数学建模和运算中存在问题,难以在工业领域进行广泛的推广应用,很快就在市场中消失。而随着德国本土工业软件的消失,汽车行业作为德国当时最大的工业软件市场迅速被美法等早期CAD工业软件源头占据。例如,法国的CATIA软件占据宝马、奔驰和大众汽车等德国知名汽车公司市场,使得在德国汽车制造业中使用CATIA软件成为大势所趋。此外,德国汽车行业中的本土软件AutoForm更是被法国达索系统收购。

复苏阶段,以“德国制造”需求为根本的重点规

划使得德国工业软件迅速恢复。基于其原有的工业经验和硬件设备基础,通过大量的收购并购软件企业和后期持续的高投入,以实现数字化自动化升级转型,让德国西门子公司此类老牌工业龙头摆脱了软件业务的短板,成为“软硬并重”的世界级工业霸主,并形成了德国以西门子等巨型工业企业为核心、其他中小型工业软件企业嵌入其工业流程协同发展的生态格局。2007年,为推动德国IT产业的整体发展,德国出台“信息通信技术2020”规划。同年,德国西门子成功收购UGS并成立了西门子PLM软件事业部,标志着西门子公司在工业软件领域完成了一大跨越。此后,西门子公司为满足自身数字化转型的需要,前后花费超100亿美元整合并购了大量全工业流程中相关的软件企业,2016年西门子以45亿美元收购Mentor Graphics公司并推出MindSphere工业云平台,西门子公司工业软件实力更是再上一个新的台阶。除此之外,与制造的深度交融和对业务的专研专精使得德国工业软件公司迅速脱颖而出占据国际舞台。例如,1992成立的CADENAS专注于在线零部件数据管理等业务,现已垄断全球前50的零部件生产商70%的企业的产品目录解决方案业务;2010年才成立的Exocad软件公司致力于实现牙科工作流程的一体化,更是已成为全球牙科CAD/CAM领域中的领军企业。

2.2.2 德国工业软件经验借鉴

在发展主体方面,德国与美国工业软件发展主体存在鲜明差异,德国工业软件领域中,企业在工业软件整体发展上起主导作用,尤其是西门子等大型工业企业几乎承担了德国工业软件的全部发展,德国政府和高校则在德国工业软件的发展中起辅助作用。德国工业软件的发展模式充分表明,先进工业是先进的工业软件的前提,大型的工业厂商可以成为工业软件的孵化基地与成长温床。对比而言,中国国产工业软件市场中鲜有大型本土工业厂商的身影,中国工业龙头对工业软件的重视与参与有待加强。此外,西门子公司收购并购软件公司的路径为中国工业龙头发展工业软件提供了良好范式,将自身的资金优势通过收购并购转变为技术优势,并充分利用大型工业厂商的工业积累和资源优势,完善工业流程数字化推动工业软件的持续升级。

在主要措施方面,从人才培养的源头上,德国教育认为必须懂数学或机械等其他专业的学生才能成为优秀的算法工程师,因此要求学生必须辅修一门如机械和化学等其他专业课程才可以获得IT学位。此外,德国将工业软件视为IT产业基础,德国主要通过制定IT产业战略发展规划从整体上促进工业软件发展,整合高校、企业、科学机构的资源与力量进行技术创新,深入对接德国制造等措施来实现工业软件特别是嵌入式和生产控制类的创新发展。此外,德国尤为重视企业的力量,强调工业软件对接“德国制造”实现产业化,以嵌入的方式将工业软件与产品绑定在一起,伴随“德国制造”走向全球。相比较而言,目前中国高校并未开设工业软件相关专业,而软件工程专业的学生也极少掌握工业领域相关知识,更缺乏工业经验的积累,因此德国对工业软件人才的培养值得中国借鉴。此外,强调本土大型工业企业在国产工业软件发展的作用也十分必要。

2.3 法国工业软件发展经验

法国工业软件以紧贴自身工业发展为导向,重点发展领域包括CAD软件、服装设计软件、柔性材料切割软件等。法国完整的工业体系是法国工业软件发展的土壤,再加上良好的市场环境、独具特色的工程师教育体系以及政府的积极作为推动法国工业软件产业的健康发展。

2.3.1 法国工业软件发展历程

法国工业软件的发展与德国比较类似,均扎根于本国先进的工业体系,但与德国几乎以西门子公司和SAP公司两家独大的局面不同,法国工业软件在汽车、高铁、飞机、核电、服装设计等行业均有不错的建树,涌现了一批如达索、施耐德(Schneider Electric SA)、AVS、Vetigraph等一批国际优秀企业,其中又以达索独占鳌头。先进的法国工业孕育了法国的工业软件,并依托法国有利的市场环境法国工业软件获得良好发展。20世纪60年代,法国汽车、飞机等制造业需要更加先进的方法和工具来满足日益高端和复杂的产品需要,为此大量企业、研究人员和数学家合作研发出更加精准的系统和设计软件,成为法国工业软件的前身。当时,作为法

国汽车制造的龙头企业雷诺开发出定义汽车表面的全新方法,并推出UNISURF、EUCLID等CAD系统,令法国成为了包括美国在内的CAD技术的两大发源地之一。20世纪八九十年代,全球工业软件蓬勃发展,法国经济也正向服务化转型,法国电信基础设施先进且拥有完善的知识产权保护体系,工业企业普遍加大对自动化、信息化的投入,为工业软件发展提供丰厚土壤,诞生大量工业软件公司。以法国服装设计行业为例,1984年,Vetigraph公司立足切割柔性材料的行业开发CAD/CAM解决方案;1995年,STRATEGIES公司开发出第一套3D制鞋软件,专门用于制鞋建模和仿真,现已逐渐发展成为制鞋、皮具和家具行业的CAD/PDM技术供应商。

此外,与德国IT产业缺乏大型企业不同,虽然法国在IT产业起步阶段落后于美国以及英国、德国等其他欧盟国家,但在一系列国家政策的支持下,法国软件行业实现了高质量发展。1997年,法国经济财政部、文化通讯部和工业部联合制定了“政府促进信息社会行动计划”,使得法国在1999年的互联网发展泡沫中反而获得迅速发展。2008年,法国颁布研发税收抵免政策,使法国成为欧洲提供最优惠研发税收激励政策的国家。2012年2月,法国发布了《数字法国2020》,其中包括发展固定和移动宽带、推广数字化应用和服务以及扶持电子信息企业的发展三大主题。2013年9月,法国发布“新的工业法国”战略规划,大力支持嵌入式软件等数字技术的发展。法国政府一直重视工业软件的发展,将工业软件研发课题长期列为国家关键技术项目,推动了法国工业软件健康发展。

2.3.2 法国工业软件经验借鉴

在发展主体方面,法国情况与德国也比较接近,同样是大型工业企业作为法国工业软件发展最重要的因素之一,既是工业软件技术突破的重要力量,也是工业软件企业的孵化器。法国政府在法国工业软件的发展中主要起着提供政策激励和维护良好发展环境的作用,而法国高校和科研机构则在法国工业软件发展中承担着主要开发者之一的角色。法国的工业软件发展主体再一次提醒中国工

业软件的发展一定要重视大型工业企业的作用,政府需加强对中国本土工业龙头投入国产工业软件的激励。

在主要措施方面,法国长期以来建设的独具特色的工程师教育体系为法国工业软件的发展提供了源源不断的人才保障。同时,法国政府通过各种政策激励、技术转移活动、科技企业孵化等积极有为的措施支持工业软件的研究、开发与产业化工作。此外,法国强调工业软件科研人员跨区域跨国

的交流合作,积极融入以欧盟和美国为主的工业软件合作平台。对于中国工业软件的长期发展而言,完善其人才培养和储备机制尤为重要,并且需要基于当前国际形势有选择性的加强与友好外邦的国际交流合作。

对美国、德国、法国工业软件发展经验借鉴中的重点领域、发展主体和主要措施进行整理,如表3所示。

表3 各国工业软件发展经验借鉴

内容	美国	德国	法国
重点领域	建模、仿真、模拟和分析的高性能计算等领域	嵌入式系统、数控系统、汽车控制模块等	CAD软件、服装设计软件、柔性材料切割软件等
发展主体	军方和政府占主导,半导体研究共同体起重要作用	西门子等工业龙头起主导作用,政府和高校起辅助作用	大型工业企业是重要力量,政府起激励作用
主要措施	1. 国家战略计划引领; 2. 组建半导体研究共同体; 3. 完善成果转化机制	1. 复合型IT人才培养机制; 2. 制定IT产业战略发展规划; 3. 强调工业软件对接“德国制造”实现产业化	1. 特色的工程师教育体系; 2. 政府积极有为的激励措施; 3. 强调工业软件科研人员的国际交流合作

3 工业软件国产化替代“有”与“用”问题对策

基于中国工业软件发展现状和问题分析,结合当前美国对中国工业软件打压的侧重领域,中国工业软件国产化替代的重心应落在研发设计类和生产控制类工业软件上,而其中又以研发设计类工业软件最为关键。国产经营管理类和嵌入式工业软件在“有”与“用”方面虽然也存在一定问题,但其国产化替代现状相对而言较为良好,暂时被欧美等国“卡脖子”的风险较弱。此外,本研究认为各类工业软件虽然在研发和应用上存在各自的特性,但在解决“有”与“用”的问题上存在一定的共性,即解决工业软件研发投入和技术进步等“有”的问题要靠创新主体的发力,而解决市场扩张和利润提升等“用”的问题则要靠政府和市场这“两只手”的调控。因此,接下来将从创新主体的角度设计工业软件国产化替代创新突破路径为解决“有”的问题提供对策建议,从市场调控的角度构建工业软件国产化替代应用激励机制为解决“用”的问题提供对策建议。

3.1 分类设计工业软件国产化替代创新突破路径

针对工业软件国产化替代“有”的问题,紧贴各类创新主体分类设计工业软件国产化替代创新突破路径是关键。因此,需根据各主体在工业软件国产化替代过程中的作用特征,分类设计相应的工业软件创新突破路径,构建工业软件国产化替代创新网络,实现国产工业软件关键核心技术创新突破,达到“自主可控,安全可靠”。其中,国产工业软件企业创新成果决定了中国工业软件领域能否在短时间内突破美国的技术封锁,因此其作为工业软件国产化替代突破先锋,起着最直接的作用。而从国产工业软件中长期的创新发展来看,国内工业龙头决定了国产工业软件的创新资源来源和持续升级空间,因此是工业软件国产化替代最核心的动力源泉。2020年9月11日,习近平总书记在科学家座谈会上明确指出“国家科技创新力的根本源泉在于人”,因此国内高校作为工业软件高质量复合型人才的培育和供给源头,为实现中国工业软件完成国产化替代并达到世界领先的长期目标,提供着最根本的创新力量。

一是从短期来看,设计以创新主导为核心的领军企业“共生共赢创新突破路径”。培育国产工业软件领军企业战略眼光,布局多点竞争的博弈格局,立足中国在第五代通信技术(5G)、大数据、物联网等关键核心技术方面的领先优势,加强优势领域相关工业软件关键核心技术突破,形成与欧美等国彼此钳制的竞争格局,尽快摆脱中国工业软件被单向“卡脖子”的困境;强化工业软件头部企业间协同创新,深化国产工业软件创研态势,鼓励国产工业软件领军企业进行资源整合,协同产业上下游和领域同行,形成以领军企业为主导的战略研发机制,深化合作开发,共同推进国产工业软件的快速发展;发挥国产工业软件领军企业引领和示范作用,健全国产工业软件开源平台,整合并搭建工业软件开源平台,推动开源走进企业,构建开源创新联合体,降低国产工业软件使用门槛,并鼓励工业软件国内从业者基于现有国产工业软件进行二次开发;打造以国产工业软件领军企业为核心的创新生态,加速工业软件国产化替代成果孵化,基于创新和开源,加强国内工业软件领域各参与者合作联系,围绕国产工业软件领军企业组建创新生态网络,奖励网络成员工业软件国产化创新成果,营造工业软件国产化替代创新发展良好氛围。

二是从中长期来看,设计以安全驱动为核心的工业龙头“优势转换创新突破路径”。鼓励大型工业企业转变经营逻辑,保障企业发展稳效并行,强调国家和产业安全是稳定快速发展的前提,摒弃“造不如买”等思想观念,学习华为从麒麟到鸿蒙等国产化替代成功案例优秀经验,将经营逻辑由效益优先转变为安全优先,未雨绸缪开展备胎计划,构建中国工业软件自主可控生态体系;鼓励国内工业龙头充分发挥其资源整合和资金支撑优势,入主参与国产工业软件的研发,借鉴德国西门子和法国达索等国际工业龙头发展工业软件优秀经验,通过收购并购全工业流程涉及的工业软件企业等手段,打造以国内工业龙头为核心的工业软件创研主体,锚定当前工业环节中国产工业软件短板命门,加大研发创新投入力度,通过资金资源的持续投入和产品软件的积极应用实现国产工业软件的循环迭代升

级;支持国内工业龙头积极转化自身积累的工业经验优势,助推国产工业软件高效创新,将工业软件开发与应用深度融合,建立基于工业经验的国产工业软件创新发展体系,并以自身为实践试点,深入开展将工业知识和实践经验转变为算法模型和系统软件的创新研究,助力国产工业软件实践性能快速提升;鼓励国内工业龙头提高薪资待遇保障,搭建企业内部高质量科创团队,提高工业软件人才薪资待遇,设立企业内部工业软件人才引进专项补贴,加强工业软件创新优化奖励,提升工业软件企业对大学生就业的吸引力,促进互联网、游戏等领域软件人才回流,并通过对回流人才的再培训、再就业,弥补软件人才在工程实践和工业经验方面的不足。

三是从长期来看,设计以实践引领为核心的国内高校“复合人才创新突破路径”。开辟工业软件专业人才培养渠道,培育足量对口复合型人才,提高工业软件相关专业招生力度,考虑工业软件所需复合型人才特性,建设跨学科培养课程体系,吸收法国、德国等工业软件人才培养经验,开通并推广软件工程专业学生辅修工科的双学位渠道;营造基于国产工业软件的学习创新环境,强化国产工业软件预备人才创新意识,加快形成并完善以国产工业软件为基础的课程体系和教材体系,通过增设国产工业软件考核或证书等方式,提升国产工业软件相关技能含金量,积极举办各类国产工业软件创新竞赛,奖励学生基于现有国产工业软件的创新和发明;统筹校内外资源,建立校企合作机制,以选修课、实践课为试点,鼓励国内高校加大与工业软件企业的沟通与合作,通过设立企业导师、项目对接等校企合作方式,为学生提供将理论学习与开发实践相结合的机会,同时依托高校科研优势助推国产工业软件企业产品快速优化升级;完善工业软件人才在职教育体系,鼓励国内高校为国产工业软件开发人才提升绿色通道,通过开设面向社会的工业软件从业人员在职培训渠道,帮助提升现阶段国产工业软件从业人员理论和技能水平。

3.2 构建工业软件国产化替代应用激励机制

在工业软件国产化替代“用”的问题上,政府和

市场是国产工业软件应用推广的两大推手,因此既要有效发挥政府指挥棒作用,又要充分发挥市场配置资源的决定作用。一方面要充分发挥中国新型举国体制在攻坚克难方面的独特优势,另一方面要深入转化中国完备工业体系和超大规模市场优势,将中国的资源、市场、体制优势转化为技术和产业优势,实现“高效可用”。

一是从宏观来看,基于政府端实施“布局大国博弈的战略激励机制”。在当前竞争上升的国际形势和智能转型的发展态势下,要充分意识到各工业软件强国对中国工业软件的打压不仅是行业竞争,而是其在大国博弈中抢占发展高地的战略手段。充分发挥中国科技创新举国体制的独特优势,借鉴美国工业软件的发展经验,将工业软件发展纳入国家战略,由国家牵头实施专项计划、建立相关国家实验室、科学中心、实践基地,突破急危工业软件,并尽快完成成果转化投入市场应用;完善产业政策和法规体系,为国产工业软件在国内市场应用开辟绿色通道,严厉打击国外垄断企业扰乱中国市场稳定的非正当竞争行为,营造国产工业软件高质量发展的环境,为国产工业软件的高效应用保驾护航;完善财税支持政策,加大金融支持力度,为国产工业软件大型企业提供专项补贴等,为国产工业软件中小企业提供专项贷款等,鼓励工业软件企业上市、兼并和重组,同时有针对性地要求政府和国有企业加大对国产工业软件的采购力度,从消费和应用环境层面帮扶国产工业软件的推广应用,提高国产工业软件创新效益并保障国家安全。

二是从微观来看,基于市场端实施“保障稳效并行的应用激励机制”。市场在配置资源上起着决定性作用,而中国拥有世界上最完备规模最大的工业体系,因此充分挖掘中国工业体系市场需求对解决工业软件国产化替代“用”的问题起关键作用。鼓励工业企业积极参与工业软件国产化替代应用过程,提供应用场景,扩张国产工业软件市场需求并缩短供需差距,通过开展试点示范,为中国工业软件企业提供充分试错和成长空间,不断提升国产工业软件成熟度;强调国内各工业龙头企业核心动力作用,鼓励国内各大工业厂商学习三一集团有限

公司孵化树根互联股份有限公司的发展经验,充分挖掘自身工业领域的资源和经验优势,既推动企业自身工业流程向智能化的转型,又通过经验模式总结开发面向行业其他企业的智能化升级转型新业务,在提升企业效益的同时提高行业科技水平并保障行业安全;鼓励国内领先工业软件企业发挥领军者作用,系统集成工业全流程涉及的相关工业软件,提供整合服务型解决方案,促进国产工业软件在工业体系中全面覆盖,依托中国工业体系的规模优势助推国产工业软件发展提高和效益回报。

4 工业软件国产化替代政策建议

4.1 强化统筹发展与安全基础工作

一是加强工业软件安全风险研判。加强国内工业软件安全风险研判,识别“卡脖子”工业软件,明确国产工业软件发展短板,制定工业软件国产化替代安全优先级标准,系统梳理评估国产工业软件安全态势,以保障安全为导向调整并布局国产工业软件领域资源支持。二是完善工业软件安全预警机制。完善国家、地方、企业等多级工业软件安全监测预警网络,加快建设中国工业软件安全监测服务体系,实施工业软件安全分类分级管理。三是加强工业软件服务机构建设。建设工业软件“双创”平台,向中小企业提供开发环境、科研基础设施,支持中小型工业软件企业深耕特定行业、领域,形成具有市场竞争力的专用工业软件,实现专业化、特色化发展,加大国产工业软件产品推广应用与服务能力,提升国产工业软件在行业中的影响力。

4.2 健全国产工业软件多方协同平台

一是构建国家级工业软件国产化替代战略规划平台。由国家工信部、教育部等部门牵头,召集国内工业龙头、互联网大企、工业软件领军企业等行业头部和国内相关高校及科研院所,对国际形势、国内政策、产业和教育等方面进行全方位讨论和研判,把控并引导中国工业软件国产化替代的整体动势。二是构建地区工业软件资源合作发展平台。由地方政府牵引,统筹当地工业市场和经验资源、科研教育资源、工业软件创新资源等,依托国内

经济大循环态势,积极推进国内各省市间的资源交换和优势互补,加强基于当地工业基础和发展动向的工业软件创新协同,并推动优秀工业软件在国内市场的推广覆盖。三是构建企业间工业软件协同研发平台。鼓励行业龙头企业联合工业软件企业,通过资源整合实现优势互补,搭建企业间工业软件协同研发平台,鼓励产业链开展典型工业软件的联合攻关、集成应用与商业孵化。

4.3 完善国产工业软件政策保障体系

一是制定面向国产工业软件的创新激励政策。加强国家重大科技项目、国家重点研发计划等对工业软件领域的支持,鼓励社会资本加大对工业软件的投资力度,完善国产工业软件创新评价体系,强化国产工业软件知识产权保护,落实软件企业税收优惠政策,增加工业软件创新创业贷款额度,持续完善惠企举措,增加国产工业软件创新奖项和奖励力度,提高针对工业软件人才的地方政府人才引进津贴,全方位激励国产工业软件创新突破。二是制定国产工业软件应用保障政策。出台一部分国产工业软件的政府全面替代采购政策和企业采购补贴政策等,针对国产工业软件首版次应用等给予资金奖补,保护并扩张国产工业软件实践基础和市场空间,开通国产工业软件上市绿色通道,在一定范围内试点国产工业软件市场份额保护政策,加速国产工业软件的市场竞争优势提升。

4.4 营造工业软件国产化替代生态循环

一是加快推进大中小企业融通发展。鼓励软件、制造、信息技术服务等企业跨界合作,促进工业和软件业有机融合,鼓励大型工业企业、重点行业龙头通过将工业软件业务独立出来、整合行业工业软件力量,培育行业骨干工业软件企业,支持国内工业软件龙头和信息技术服务企业开展收购并购、兼并重组和专业化、体系化整合,延伸业务领域,提高综合实力。二是推动工业软件产业集聚发展。围绕京津冀、长江经济带、粤港澳大湾区等国家战略布局,因地制宜建设一批工业软件示范区、工业软件名园等,在政策和制度创新上支持示范区,推动工业软件产业链上下游企业在示范区域内集群式融通发展。三是推动工业软件开源化。鼓励发

展开源基金、开源许可证、开源项目和开源托管平台等,普及传播开源工业软件文化,加快开源工业软件标准研制,完善开源工业软件治理规则,推动开源软件生态建设,建设开源社区,汇聚开源人才,建立与国际开源组织合作交流机制,依托重大项目和骨干企业,开展中国开源工业软件应用示范。

5 结论

工业软件作为工业领域的皇冠,在中国工业体系向高端和智能的转型中起着至关重要的作用。但由于中国国产工业软件的落后,目前成为美国打压中国先进制造业发展的重点领域。为回答如何实现工业软件国产化替代这一亟需解决的现实难题,根据工业软件的不同类别,分别整理了研发设计类、生产控制类、经营管理类和嵌入式工业软件的发展现状和国产化替代程度,并基于渐变型技术的自我增强机制,从工业软件国产化替代“有”与“用”循环促进的角度,明确指出中国各类国产工业软件在“有没有”“愿不愿用”“好不好用”等方面存在的问题。通过整理并归纳美、法、德等国工业软件发展历程,本研究指出美国国家战略计划模式、法德大型工企主导模式以及复合人才培养等各国工业软件发展中值得中国学习借鉴的经验措施。

聚焦“有”的方面,提出短期上设计以创新主导为核心的领军企业“共生共赢创新突破路径”、中长期上设计以安全驱动为核心的工业龙头“优势转换创新突破路径”、长期上设计以实践引领为核心的国内高校“复合人才创新突破路径”的对策建议,保障国产工业软件实现“自主可控,安全可靠”。聚焦“用”的方面,提出宏观上基于政府端实施“布局大国博弈的战略激励机制”、微观上基于市场端实施“保障稳效并行的应用激励机制”的对策建议,保障国产工业软件达到“高效可用”。最后从基础工作、多方协同平台、政策保障体系和生态循环4个方面,对工业软件国产化替代分别提出政策建议。

总的来说,要意识到工业软件对中国工业发展、经济稳定和国家安全性的重要性,更要意识到当前美国对中国工业软件打压的严峻性。要意识到

工业软件国产化替代是“有”与“用”循环促进的过程,要意识到工业软件国产化替代不只是国内工业软件企业的事,也是中国整体工业体系的事,国家计划和国内大型工业厂商要发挥主导力量。工业软件国产化替代道阻且长,行则将至。

参考文献(References)

- [1] 江绍华. 国内外工业软件产业创新发展研究[J]. 广东科技, 2021, 30(10): 70-73.
- [2] 中国工业技术软件化产业联盟. 中国工业软件产业白皮书(2020) [EB/OL]. (2021-06-09) [2022-11-22]. <http://www.caitis.cn/newsinfo/1573724.html?templateId=100829>.
- [3] 代小龙. 中国工业软件发展现状与趋势分析[J]. 软件导刊, 2022, 21(10): 31-35.
- [4] 周冬福. 2021年中国工业软件行业发展现状分析,行业国产化程度亟待提升[EB/OL]. (2022-02-03) [2022-11-22]. <https://www.huaon.com/channel/trend/781484.html>.
- [5] 黄昂瑾. 我国连续11年位居世界第一制造业大国对世界制造业贡献比重接近30%[EB/OL]. (2021-03-01) [2022-11-22]. http://finance.cnr.cn/gundong/20210301/t20210301_525424380.shtml.
- [6] 邵珠峰, 赵云, 王晨, 等. 新时期我国工业软件产业发展路径研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(2): 86-95.
- [7] 郭朝先, 苗雨菲, 许婷婷. 全球工业软件产业生态与中国工业软件产业竞争力评估[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2022, 42(2): 22-30.
- [8] 彭志伟. 2021年中国EDA龙头企业华大九天与Cadence经营对比, 国产EDA差距何在? [EB/OL]. (2022-08-02) [2022-11-22]. <https://www.huaon.com/channel/trend/824492.html>.
- [9] 郭刚, 鲁金屏, 窦俊豪, 等. 我国工业软件产业发展现状与机遇[J]. 软件导刊, 2022, 21(10): 26-30.
- [10] Maggi G. Technology gap and international trade: An evolutionary model[J]. Journal of Evolutionary Economics, 1993, 3(2): 109-126.
- [11] 陶卓, 黄卫东. 中国工业软件产业发展路径研究[J]. 技术经济与管理研究, 2021(4): 78-82.
- [12] 王海成. 从国家战略高度重视国产工业软件产业高质量发展[J]. 中国发展观察, 2021(14): 13-18.
- [13] 肖源. 我国工业软件突围路径探析[J]. 国家治理, 2022(7): 57-59.
- [14] 林雪萍. 工业软件简史[M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 2021: 73-116.
- [15] 吕龙德. 工业软件强国的成功之路[J]. 广东造船, 2020, 39(5): 13-15.

Industrial software innovation breakthrough path and incentive mechanism for domestic replacement

ZHOU Xiongwei, XIAO Yonglong, YANG Xinhao

Business School, Central South University, Changsha 410012, China

Abstract The realization of domestic replacement of industrial software is the key to the transformation of China's industrial system to high-end and intelligent. In response to the U.S. suppression of China's industrial software development, and to explore the road of domestic replacement of industrial software, this paper compiles the development status and the degree of domestic substitution for four types of industrial software: R&D design software, production control software, business management software and embedded software, and analyzes the problems of the various types of domestic industrial software from the aspects of "have" and "use". It also reviews and summarizes the development history and learning experience of the world's industrial software powerhouses such as the United States, Germany and France. Focusing on the two aspects of "have" and "use", the paper proposes countermeasures to design innovation breakthrough path and build application incentive mechanism respectively. Finally, this paper systematically proposes multi-faceted policy recommendations for the replacement of industrial software.

Keywords industrial software; domestic replacement; innovation; breakthrough path; incentive mechanism ●



(责任编辑 刘志远)