

以多层生态战略破解先发者主导优势:以EDA为例

李先军, 刘建丽, 张任之

(中国社会科学院工业经济研究所, 北京 100006)

摘 要:在集成电路产业超过半个世纪的发展历程中,电子设计自动化软件(EDA)应运而生并随着技术进步和产业分工不断演化和发展,成为今天贯穿集成电路全流程的基础支撑工具。尽管表现出极端重要性,但电子设计自动化软件的总体市场规模较小。从当前市场结构来看,美国企业处于先发优势和寡头垄断地位,我国在这一领域发展相对滞后且在美国打压背景下发展严重受限,这也成为我国集成电路产业被“卡脖子”的关键领域。在后发者突破先发者主导优势获取发展机会的过程中,电子设计自动化软件领域要尤其重视产业生态的参与和重构,通过创新生态、产品生态、产业生态和国际竞争生态中实施多层生态战略,逐步构筑起后发企业的生态位优势,驱动电子设计自动化软件的高质量发展。基于赶超和发展的目标,未来在支持电子设计自动化软件发展过程中,应当在顶层设计、系统设计、产权保护等方面发挥国家力量,同时补足在人才和基础创新中的短板,主动融入全球产业生态。

关键词:集成电路产业;电子设计自动化软件;多层生态战略;先发者主导优势

中图分类号:F414 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2023)5—0079—12

一、引言

集成电路电子设计自动化软件(electronic design automation, EDA)是利用计算机辅助完成集成电路生产全过程的工业工具。狭义上的电子设计自动化软件指的是应用在集成电路设计环节,包括用于设计、布线、验证、仿真的辅助工具;广义上的电子设计自动化软件指的是支持集成电路从设计到制造和封装测试全流程的软件及相关服务。电子设计自动化软件是集成电路产业“软实力”的重要内容,也是信息软件业的重要组成部分。相对于可观测的材料、设备及制造和封测过程,电子设计自动化软件往往隐藏在集成电路的生产过程中,但却是贯穿和支撑集成电路全产业链的关键信息和技术集成,也被称之为“芯片之母”。纵观全球电子设计自动化软件的发展历程,从聚焦设计环节的软件支持,到提供涵盖设计-制造-封装测试的全流程一体化服务,体现了信息化与工业化的有效融合。从其背后的知识基础来看,电子设计自动化软件的直接表现形式为计算机工具,但背后融合了图形学、计算数学、微电子学、拓扑逻辑学、材料学及人工智能等多元技术,是集成电路的运算、功耗、制程等总体目标具象化为设计图案、制造流程、封装工艺等基本工具的过程内容。

集成电路电子设计自动化软件当前的全球竞争格局从根本上源于其发展和演化的历史逻辑,在集成电路精细化发展和产业大分工的背景下,美国企业不断强化在这一领域的控制力,并使之成为影响和控制全球集成电路产业的“利器”。从2019年5月美国商务部全面限制华为采购用于生产半导体的软件、技术和零部件,到2022年8月13日美国商务部全面限制用于设计全栅场效应晶体管(gate-all-around field-effect transistor, GAAFET)软件对华出口,美国不断加紧了对我国集成电路电子设计自动化软件的出口和技术限制,并在其国家战略体系、政策体系中不断强化对华技术、人才、产品的全方位限制,并将其作为围堵和孤立我国在数字经济时代赶超发展的重要“一环”。

立足于领先企业主导的竞争生态优势、“产品-用户”技术路线锁定的用户生态、国家干预下的排他性生

收稿日期:2023-04-07

基金项目:国家社会科学基金重大项目“智能制造关键核心技术国产替代战略与政策研究”(21&ZD132);国家社会科学基金重大项目“数字经济推动新兴产业创新的制度逻辑与系统构建研究”(22&ZD099);国家社会科学基金重点项目“中国关键核心技术突破路径研究”(20AGL002);中国社会科学院登峰战略企业管理优势学科建设项目

作者简介:李先军,博士,中国社会科学院工业经济研究所副研究员,硕士研究生导师,研究方向:中小企业创新与经济发展,关键核心技术创新的组织与政策研究等;刘建丽,博士,中国社会科学院工业经济研究所研究员,博士研究生导师,研究方向:创新管理,企业国际化等;张任之,博士,中国社会科学院工业经济研究所编辑,研究方向:国有企业,人力资源管理。感谢邹同煜在资料收集、整理和翻译中所作的贡献。

态等现实困难,需要从生态视角来审视我国作为后来者突破的战略选择,尤其是通过构建创新生态、产品生态、产业生态和国际竞争生态的多层生态战略具有重要的现实价值。本文在分析集成电路电子设计自动化软件发展历史逻辑和理论逻辑的基础上,分析我国在集成电路电子设计自动化软件的全球竞争地位,并在此基础上结合国产替代和后来赶超的总体目标和现实困难,提出我国集成电路电子设计自动化软件发展的多层生态战略和相关政策建议,以期为我国集成电路产业安全、高质量发展夯实基础。

二、集成电路电子设计自动化软件发展的历程与内在逻辑

电子设计自动化软件是提高集成电路生产效率的重要工具,也正是集成电路的发展提高了设计软件的算力,进而为集成电路发展提供了良好的支撑,软件和硬件表现出相互促进的演进态势。尽管并未像集成电路遵循摩尔定律一样的快速迭代,但是,随着集成电路从大规模集成电路(large scale integration circuit, LSI)向超大规模集成电路(very large scale integration circuit, VLSI)再到超大规模集成电路(ultra-large scale integration circuit, ULSI)的发展,电子设计自动化软件也表现出典型的模式跃迁。

(一)集成电路发展早期阶段的手工设计

1958年,仙童公司的罗伯特·诺伊斯和德州仪器公司的杰克·基尔比间隔数月分别发明了集成电路,开启了利用平面化思路设计电子线路的时代,实现了晶体管、二极管、电容、电阻等多种电子元件和分立器件整合的集成电路发展。集成电路的发明本质上就是利用平面化思路重新设计电子线路,设计自始至终都是驱动集成电路行业效率提升进而实现摩尔定律发展的重要工具(刘建丽, 2023)。在集成电路产业发展早期,由于集成在电路板上的晶体管数量较少、单个晶体管物理尺寸较大,芯片设计的重要性未能凸显出来。设计往往是由德州仪器、摩托罗拉、国际商用机器公司等大型一体化企业内部的部门完成,手工设计、制造和封装是主流,设计的电子化程度不高,可称之为企业内的手工设计阶段。

制造企业往往依靠手工在坐标纸上描绘出晶体管图形(版图),之后输入图形发生器,再用“刻红膜”的方式制做掩模版,其核心目标是制造出电路制造的图案掩模版。但是,这一阶段所积累的电路技术、布线规律等,为电子设计自动化软件的发展提供了底层的知识积累,例如,1963年仙童公司提出的互补金属氧化物半导体(CMOS)电路技术构成了逻辑电路的基础;1963年仙童公司设计了第一颗集成运算放大器电路 $\mu A702$ 是模拟电路的技术实现;1967年贝尔实验室发明的非挥发存储器成为可擦除可编程只读存储器(erasable programmable read-only memory, EPROM)、电子式可擦除可编程只读存储器(electrically-erasable programmable read-only Memory, EEPROM)和非易失性存储器(Flash)的基础;1968年国际商用机器公司发明的动态随机存取存储器(dynamic random-access memory, DRAM)成为内存的标准形态;1979年通用电气公司提出的绝缘栅双极型晶体管(insulated gate bipolar transistor, IGBT)构想为后来高频、高压电力电子的应用奠定了基础;1980年东芝公司发明的NOR Flash(“或非”逻辑门电路闪存)及1987年发明的NAND Flash(“或与”逻辑门电路闪存)成为非易失性固态存储广为应用的基础。

(二)大规模集成电路阶段的企业内电子设计软件开发

随着单位面积晶体管数量的快速增加、整合的电子元件不断增多,集成电路产业进入大规模集成电路(LSI)阶段。此时,依靠手工的电路图输入、布局和布线难度较大,集成电路制造企业对电子自动化设计软件有了新需求,而集成电路本身的性能提升使得其才具有支撑软件开发的能力,此时电子化的设计自动化软件才开始出现。此外,随着可编程逻辑技术(programmable logic device, PLD)的发明和应用,开发人员尝试将整个设计工程自动化,通过计算机辅助设计(computer aided design, CAD)实现交互图形编辑,电子设计软件不再仅仅满足于完成光刻掩模版的出图,还包括晶体管的版图设计、布局布线、设计规则检查、门级电路模拟和验证等,这也是电子设计自动化软件的早期发展阶段。

然而,受当时集成电路行业一体化发展模式的限制,电子设计自动化软件以大型一体化芯片制造公司内部开发为主,其以企业内电子设计自动化软件(in-house EDA)的形式存在,市场上仅有少数商用的电子设计自动化软件公司,如Applicon、Calma、Computer Vision等,且这些公司的重心还是偏向于机械类的电子辅助设计软件开发。

(三)超大规模集成电路阶段后的商业化软件企业发展

发展到超大规模集成电路(VLSI)阶段,集成电路的规模和产品复杂度呈现数量级的攀升,用预先设计

好并经过验证的模块来构建复杂的电路系统成为集成电路设计方法学的重要思路,并自此促生了IP核(intellectual property core,后文简称IP核)从设计中的分离并成为相对独立的业务类型。在此过程中,随着晶圆代工厂模式(fabless)的涌现,以及集成电路应用的逐步渗透和需求的扩张,大量专注于集成电路设计的公司开始涌现。但是,由于大量中小企业缺乏开发自用电子设计自动化软件工具的资源 and 能力,因此产生了大量的外部商用需求。自1980年卡弗尔·米德和琳·康维发表的《超大规模集成电路系统导论》第一次提出用语言编程的方式设计芯片后,硬件描述语言(very-high-speed integrated circuit hardware description language, VHDL)就成为电子设计自动化软件的主流语言。此后,电子设计自动化软件企业迅猛发展,其功能也不断丰富和延伸,电子设计自动化软件工具功能开始包括自动布局布线、定时分析、逻辑模拟、仿真故障等。新思科技(Synopsys)、铿腾电子(Cadence)和明导公司(Mentor Graphics)均成立于这一阶段,并立足于自身的技术和产品优势实现在专业领域的领先地位。例如,新思科技创立之初即推出的逻辑综合工具Design Compiler把芯片设计思路抽象化,将底层细节都归并到库和计算机辅助工程工具中,芯片设计工程师可以使用硬件描述语言编写代码来实现芯片功能,功能验证后再通过逻辑综合工具将硬件描述语言转换成逻辑电路图,最后进入制造环节。这极大地提升了集成电路设计的效率,引发了芯片设计行业的流程变革。至此,数字逻辑设计(前端)和数字实现(后端)开始分化并进一步推动芯片设计的专业化,新思科技也据此奠定了其在半导体逻辑设计工具的市场优势。

为满足电路的电流通断、信号放大和功率控制等功能,分别衍生出逻辑电路、模拟电路和分立器件等不同的集成电路产品,它们在基本特性和功能方面的差异,使得对电子设计自动化软件和IP核的需求也表现出较大的差异,在这一领域也涌现出诸如安世(Ansys)、是德科技(Keysight)等在模拟电路设计软件和IP核具有优势的企业。这些企业利用其在特殊应用领域的专业化优势,成为集成电路设计软件和IP核的综合性供应商。这一阶段,在国际繁荣的电子设计自动化软件发展进程中,西方国家妄图将中国排除出全球化体系,电子设计自动化软件等高科技产品和软件被禁止向我国出口。在巴黎统筹委员会禁运的压力下,我国于1986年成功研制出首个自有的集成电路计算机辅助设计工具“熊猫ICCAD系统”,并于1993年全面问世,成为我国电子设计自动化软件发展的里程碑式事件。

(四)极大规模集成电路阶段后的系统级和整合型服务供给

进入极大规模集成电路(ULSI)时代,集成电路上的晶体管物理尺寸已接近人类认知微观世界的极限。与此同时,集成电路产业分工进入了加速阶段,以系统级软件保障分工后设计、制造、封测企业的有效协同变得尤为重要。从集成电路产业发展的趋势来看,出于控制成本及加快产品研发和市场化进程的目标,不断创新集成电路生产的工艺、强化流程的标准化便成为自然选择。工艺标准化不仅表现为制造、封装的大规模工业化,也表现为设计环节对大量通用IP核模块的组合及电子设计自动化软件的大量普及;流程的标准化更多地体现在从一体化企业分化为更为专业化的产业链细分企业,电路设计与晶圆制造分离,IP核开发与电路设计分离,电子设计自动化软件服务与电路设计分离,聚焦在更为精细领域促进专业化和效率提升成为产业发展的基本趋势。作为贯穿集成电路全流程的电子设计自动化软件,不仅要实现对前端后端功能的系统协同,还需要在设计过程中融入更多模块化的IP核以保证芯片在使用中的普遍兼容性。

为保证设计企业通过晶圆制造和封测企业的成本良率控制实现功能目标,尤其是保障对多品类产品(如同时制造逻辑芯片和模拟芯片,或者在单个芯片上实现混合功能)的有效支持,系统级的电子设计自动化软件便成为具有优势的产品。为实现系统级电子设计自动化软件的供应,行业内出现了并购浪潮。例如,新思科技在20世纪90年代就进行了20次行业并购,其中,在1999年收购Zycad公司的仿真业务以补足其硬件描述语言的短板,在1995年收购Silicon Architects迅速介入下一代门阵列技术(基于单元阵列)的开发,并于2001年收购Avant获得了芯片后端布局布线近四成的市场,自此成为第一家可提供前后端全流程设计工具的电子设计自动化软件供应商。通过行业的横向并购,行业领先企业可以为集成电路设计企业提供完整的产品与技术解决方案,以此巩固其市场地位,这也形成了当前集成电路电子设计自动化软件行业中寡头企业主导的市场格局。

此外,为便于设计企业快速调用各类IP核,电子设计自动化软件供应商在强化自身系统级服务提供商地位的同时,也在其软件中嵌入了大量IP核尤其是接口类IP核。例如新思科技的DesignWare IP产品系列包括逻辑库、嵌入式存储器、嵌入式测试单元、模拟IP核、有线和无线接口IP核、安全IP核、嵌入式处理器和

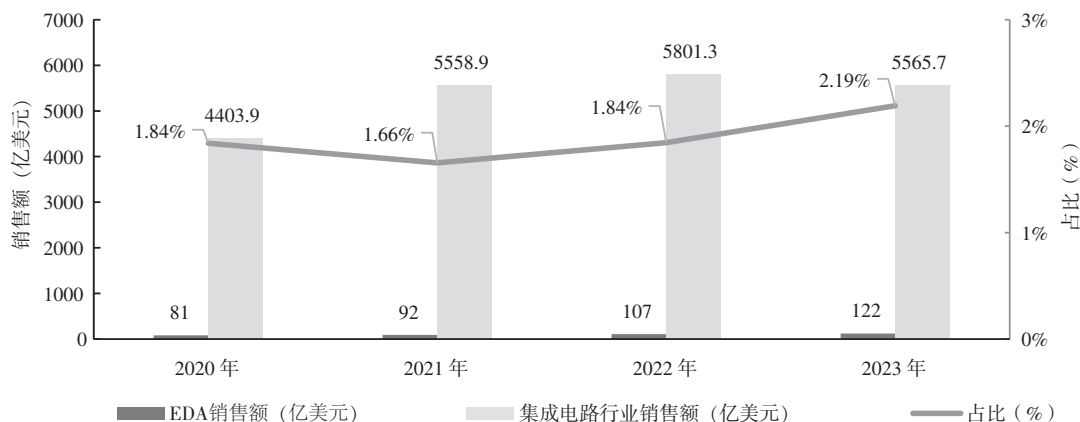
子系统等,帮助设计人员降低了集成风险,缩短了产品上市时间。正是通过为芯片设计、验证、IP核、安全方案等完整的设计数字化流程,电子设计自动化软件的领先企业在助推集成电路行业不断进步的同时也夯实了自身的市场地位。

三、集成电路电子设计自动化软件发展的现实与全球竞争格局

起源于美国的集成电路产业,在其发展和分工的历史进程中,美国企业不断朝着价值链“微笑曲线”的两端移动,这也形塑了其在集成电路电子设计自动化软件领域的全球领先优势。总体来看,目前全球电子设计自动化软件市场表现出龙头企业主导、专业型企业聚焦特定领域具有比较优势、新兴企业快速涌现的竞争态势。龙头企业和专业型企业主要集中在美欧国家,我国在近年来面临美国打压的背景下涌现出一批新兴企业,但从总体来看,我国企业竞争力极弱但成长性较高,对于推进集成电路领域的国产替代和赶超发展具有重要的现实意义。

(一)集成电路电子设计自动化软件的市场规模与市场格局

在集成电路进入微米级以后,软件设计成为实现芯片设计的唯一选择,电子软件自动化领域的快速发展。根据 Statista 的数据显示,2021 年,全球集成电路电子设计自动化软件的市场规模约为 92 亿美元,较 2020 年增长 13.58%,预计 2022—2023 年依然保持超过 10% 以上的高速增长,增速远超集成电路全行业增长率。



数据来源: Statista(2023) 和世界半导体贸易统计组织(WSTS, 2022)

图 1 2020—2023 年集成电路电子设计自动化软件和集成电路市场销售额及其对比

与高速增长形成鲜明对照的是,集成电路电子设计自动化软件属于软件业细分领域,仅有集成电路产业规模的 2% 左右,也只相当于集成电路设备行业 10% 左右的市场规模(李先军等, 2022),对政府投资和市场投资的吸引力不高,导致这一领域演化为一个集中度极高的市场。然而,在集成电路产业快速发展和技术创新所衍生的商业机会中,也催生了一些新企业的创立,它们聚焦在细分目标市场形成独特优势。在大企业主导和新企业快速诞生的竞争格局下,并购和整合也成为电子软件自动化软件市场的典型特征。新思科技、铿腾电子和西门子明导三家公司是电子设计自动化软件的主导者,从全球范围内的市场占有率来看,2020 年,三家企业合计全球市场占有率达 69%,在我国的市场占有率更是高达 76.7%(表 1)。三家企业均拥有完整且优势明显的全流程工具,为芯片设计企业提供系统的服务集成,且部分流程工具在细分领域拥有绝对优势,属于集成电路电子设计自动化软件的绝对领先企业,它们与设计企业、大型制造企业和封装企业形成密切的业务和技术合作,是集成电路产业技术路线的维护者和创新者。然而,由于集成电路在摩尔定律下的快速迭代创新和行业分工,以及其产品应用场景的复杂度和多元性,使得集成电路产业发展过程中不断涌现出对软件的新需求,这也为一些专注于特定领域的集成电路电子设计自动化软件企业发展创造了市场机会。例如,安世在热分析、压电分析等领域占据绝对优势;是德科技的 EEsof 在电磁仿真、射频综合等领域具有优势;华大九天在平板显示器设计软件领域具有一定的优势。

表1 集成电路电子设计自动化软件领先企业经营数据对比

排名	厂商	总部	成立时间	概况	2020年 营业收入 (亿美元)	2021年营 业收入 (亿美元)	2022年营 业收入 (亿美元)	2020年研 发强度 (%)	2020年全 球市场占 有率(%)	2020年国 内市场占 有率(%)
1	新思科技	美国	1986年	全球排名第一的EDA解决方案提供商和芯片接口IP核供应商	36.85	42.04	50.82	36	32	28.7
2	铿腾电子	美国	1988年	公司业务包含功能验证、数字集成电路设计与验收、定制集成电路设计与仿真、系统互联与分析和IP核五大业务	26.83	29.88	35.62	39	23	31.6
3	西门子明导	美国	1981年	除EDA工具外,还具备非常多助力汽车电子厂商的产品,包括嵌入式软件等	12.8	—	—	32	14	16.4
4	安世	美国	1970年	专注于工程仿真软件和技术,提供业界唯一完整的系统、电路和电磁场全集成化设计平台,完成从部件设计、电路仿真优化到系统仿真验证的全过程	16.81	19.07	20.66	21	—	4.7
5	是德科技	美国	2014年	专注于测试测量领域、通信设计和器件建模领域	42.21	49.41	54.20	13	—	3.3
6	华大九天	中国	2009年	覆盖了数字电路、模拟电路、平板显示电路和晶圆制造等领域	0.64	0.91	—	44.22	—	5.8
7	概伦电子	中国	2010年	主要产品及服务包括制造类EDA工具、设计类EDA工具、半导体器件特性测试仪器和半导体工程服务等	0.21	0.30	—	38.91	—	—
8	广立微	中国	2003年	提供EDA软件、电路IP核、WAT电性测试设备及与芯片成品率提升技术相结合的整套解决方案	0.19	0.31	0.51	32.69	—	—

注:明导国际(Mentor Graphics)2016年被德国西门子公司收购,成为其下属的EDA部门,不再单独披露相关财务数据,故营业收入和研发强度均为2016年数据。数据来源:万得(wind)全球企业库数据。

(二)我国集成电路电子设计自动化软件企业的全球竞争力

我国的集成电路电子设计自动化软件发展较为坎坷,在巴黎统筹委员会对华禁运形势下我国开发出第一款软件“熊猫ICCAD系统”并获得成功之后,随即1994年巴黎统筹委员会正式解散,美国解除了对华电子设计自动化软件封锁,新思科技、铿腾电子等相继进入我国市场,并利用其在产品完整度、适用性等方面的优势,形成对国产系统的“降维打击”,我国集成电路电子设计自动化软件进入“沉寂期”。然而,自2008年以来,随着美国对我国集成电路产业的持续打压,美国又开始新一轮对我国集成电路电子设计自动化软件的出口限制,一些新兴企业开始逐步涌现和发展。但总体来看,国内这一领域的企业起步晚、规模小、技术能力弱、系统性支持能力不足等,目前仅有华大九天、概伦电子、广立微等少数企业在部分领域具有一定的市场竞争力,但与全球巨头差距巨大。

华大九天是“熊猫ICCAD系统”的延续,在模拟电路和平板显示电路设计领域具有较强的竞争力。在模拟电路领域,该公司是我国目前唯一能够提供版图设计、电路仿真、物理验证、参数提取和可靠性分析在内的一站式完整解决方案的全流程本土企业;在精度和制程相对较低的平板显示电路设计领域具有国际竞争力,可为下游用户提供模型提取、版图编辑、电路仿真、物理验证、参数提取和可靠性分析等一站式解决方案;在数字电路领域,公司也在时序分析、版图集成等方面拥有诸多具有特色的点工具。

概伦电子在器件建模与仿真领域电子设计自动化软件工具方面具有一定的国际竞争力。主要针对存储器和模拟电路/混合信号电路等定制电路的设计和验证,以电路仿真解决方案为核心,为客户提供完整的电路设计输入、仿真和验证、版图实现和验证等流程。

广立微为提高集成电路设计的可制造性、性能、成品率并缩短产品上市时间,可为客户提供用于芯片测试的软、硬件系统产品及整体解决方案;并在芯片功耗效率、电源完整性、噪声、电迁移和高性能可靠性等方面提供设计分析与智能优化工具等。

四、我国电子设计自动化软件突破和赶超面临的生态困境

从竞争态势来看,电子设计自动化软件领域表现出显著的“生态围栏”特征,领先者构筑了完整的产业生态将后发者排除在生态系统之外以保证对产业的有效控制力并攫取更高的利润,这也成为后发国家亟需强化突破并赶超发展的主要原因。从当前全球集成电路电子设计自动化软件产业的竞争态势来看,领先企业

主导的竞争生态优势、“产品-用户”技术路线锁定的用户生态、国家干预下的排他性生态等,是制约我国集成电路产业发展、威胁我国数字产业安全的重要原因。

(一)领先企业利用先发优势构筑的“技术-用户-产业高墙”对后发者的巨大压力

从电子设计自动化软件领域近半个世纪的发展历程来看,电子设计自动化软件企业构筑了极为完善的产业生态(郭朝先等,2022),并通过相互交叉、市场并购等各种方式不断强化在各个领域的优势,形成对芯片设计乃至制造和封装企业的全流程服务,对后进入者形成难以赶超的“屏障”,具体来看,后发者进入和赶超主要面临如下几方面困难:

一是产品本身的复杂技术和知识基础对后发者树立了极高的技术壁垒。电子设计自动化软件涉及多个基础学科,融合了计算机、图形学、计算数学、微电子学、拓扑逻辑学、材料学及人工智能等多学科知识,加之头部企业的长期高强度技术研发投入进一步强化其技术壁垒。

二是行业巨头的整合形成对集成电路产业的上下游用户锁定,后发者市场进入十分困难。行业巨头已发展成为同时向设计企业、制造企业和封装企业提供全流程的电子设计自动化软件,芯片设计企业购买软件并基于此向制造企业提供设计版图,而制造企业向则将其工艺设计套件(process design kit, PDK)提供给电子设计自动化软件厂商,同时向设计企业提供反馈数据,借以保证设计和制造的有效协同。正是基于产业链的协同目的,电子设计自动化软件供应商、设计企业、代工厂、IP核供应商之间建立了十分密切的关系,这其中既有基于商业上的合作,也有在长期的行业合作中形成的人员流动、投资、标准合作等多方相互交叉关系,尤其是电子设计自动化软件通常也是重要的IP核供应商,后进入者既难以获得客户,也难以获得相关资源支持。

三是领先厂商通过对用户行为的锁定和强大的专利积累防范后发者新技术路线的推进。行业巨头利用数十年来的大型收购和整合,使得其产品已成为行业标准,形成对芯片设计师的“行为锁定”,加之行业巨头在这一领域的强大专利积累,后进者面临用户习惯转变的高额成本和巨头侵权起诉的高额风险两难困境,即便是美国国防高级研究计划局(defense advanced research projects agency, DARPA)发起的OpenROAD倡议也难以改变美国芯片设计企业对行业巨头的路径依赖。以专利数量为例,截至2020年底,新思科技拥有4463件专利,占电子设计自动化软件领域专利总数的31.0%;铿腾电子拥有3119件专利,占比21.6%。

四是领先企业通过高强度的创新投入及快节奏的版本更新,保持其在全球竞争中的持续领先地位及对新进入者的威慑效应。每一次制程的进步,电子设计自动化软件都会有30%~50%的代码需要重新编写,摩尔定律推动电子设计自动化软件企业不断增加研发投入以保持技术的领先性,新思科技、铿腾电子和西门子明导等长期以来都保持将其收入的30%以上用于研究开发。

五是电子设计自动化软件具有强大的网络经济特征,后发者进入面临明显的后发劣势。随着软件设计复杂度的提高,对于设计和制造企业来说,软件功能越完善、IP核数量和支持领域越多,其效率更高、体验越好、投入产出比更高。领先企业经常利用其完善的产品体系和差异化的定价机制,通过搭售、部分模块赠送等方式歧视性定价,以非正当竞争打压后发企业。

(二)后发者难以打破“厂商-用户”生态系统所形塑的发展轨道

芯片在物理特征上是由尺寸越来越小、密度越来越高的晶体管构成,但从数字特征上则是由大量的设计线路、开关、分立器件和IP核构成,电子设计自动化软件是联系数字特征和物理特征的纽带。然而,实现其功能则是建立在某一类型的指令集架构之上,如基于复杂指令集(complex instruction set computer, CISC)的X86架构、基于精简指令集(reduced instruction set computer, RISC)的安谋高级精简指令集机器架构(advanced risc machine, ARM),以保证芯片与操作系统及各类应用相匹配(如Wintel联盟、ARM+Android生态、ARM+iOS生态),形成为用户直接最终使用的软件+硬件的基本架构。操作系统、应用生态、指令集架构、电子设计自动化软件、IP核等共同构筑了完整的“厂商-用户”生态系统,后发者希望重建技术或商业轨道来实现赶超极为困难。而从用户视角来看,后发者要想进入行业,其中不可忽略的是操作系统和各类应用对用户的友好度。目前,支撑操作系统的则是各类开源社区+自有商店(如苹果公司的应用商店)提供的应用软件,应用软件的丰富性是操作系统可用性的必要条件,目前主要的开源社区总部基本上都在美国,且以Linux为主导,目前国内只有华为的欧拉开源社区(openEuler)具有影响芯片大厂的能力。应用软件的开发需要适配特定架构的芯片和操作系统,芯片的开发则需要建立在特定的底层架构之上,主流的操作系统、指令集架构也为美国、英国等行业巨头企业所把控。

根据 Statcounter 的数据显示^①,截至 2023 年 3 月,中国桌面操作系统市场中,微软的 Windows 系统和苹果的 OS X 系统市场份额分别为 69.4% 和 17.21%,Chrome 和 Linux 系统市场份额也只有 3.23% 和 2.85%。硬件设计-软件系统匹配形成所形成的完整产业生态,引导芯片设计企业不得不选择依托适应操作系统和应用的指令集架构,短期内打破生态重构体系十分困难。近年来,我国在专用集成电路(application specific integrated circuit,ASIC)领域的 IP 核快速发展,这主要是出于防范底层架构被国外控制的安全目的。要想从根本上推动我国电子设计自动化软件的发展,不仅需要关注其本身的发展,还需要从更宽广的视域来审视整个应用端和操作系统生态的适用性问题,为从终端用户牵引上游产业发展创造条件。

(三)美西方打压背景下我国企业难以整合全球资源和能力以提升竞争力

集成电路是一个高度全球化的行业,作为其基础之一的电子自动化软件同样如此。行业领导者就是通过全球化的企业并购、人才使用、市场开拓等方式,不断强化其网络经济和规模经济优势。然而,随着近年来以美国为首的西方国家对我国集成电路等高科技行业的精准打击和全面围堵,我国企业利用全球资源和能力实现后发赶超的路径难以实现。

一是全球范围内的企业并购难度极大,国内并购的标的对象极少。2019 年以来,我国在集成电路领域海外的成功并购仅存在于一些劳动密集型的封测领域或技术能力较弱的小企业,绝大多数海外并购都被美国等西方国家以“国家安全”的名义全面否决。国内电子设计自动化软件企业由于积累较少、自身实力较弱,国内的资源整合也难以形成真正的协同效应。

二是人才供给严重不足,全球范围内的人才交流被“封堵”。尽管我国有世界上最大的人力资源存量,但受产业发展阶段的限制,人才结构上表现出与产业未来发展不一致的人才需求,在集成电路电子设计自动化软件和 IP 核环节更是如此。根据《中国集成电路产业人才白皮书》统计,我国集成电路产业存在 30 多万人才缺口。另据 2018 年的相关统计,在我国从事 EDA 研发的 1500 人中,在国内研究机构和公司工作的只有 300 人,其余人员均在新思科技等行业国外巨头工作,相比之下,仅新思科技就有大约 5000 名工程师从事电子设计自动化软件的研究和开发。与此同时,本身供不应求的软件工程师队伍,电子设计自动化软件企业还面临与国内大型软件企业的竞争。此外,在美国极限打压背景下,我国集成电路领域人才的全球交流面临前所未有的困难。2022 年底美国修订《出口管理条例》中的“美国人”管制政策,严格限制“美国人”为我提供相关服务。无论是美国公民,还是拥有永久居留权、受美国法律保护下的难民、持有美国绿卡的非美籍永久居民、在美国境内的任何人,以及受美国或境内管辖地法律设立的法人或在外国的分支机构,都被视为“美国人”,他们在我国境内从事芯片生产制造和相关产品设计、设备研发等领域开发、管理工作均需取得美国商务部产业安全局的许可。此外,美国还将“美国人”参与我国境内半导体开发活动视为其在美国境外进行核、生化、导弹扩散等类似活动的全面监管,即使所涉物项不受管辖,但其行为同样受《出口管制条例》约束。各企业现有美籍或持有美国居住权的员工面临极高的法律风险,且供应商、代理商、服务商等都面临被《出口管理条例》处罚风险,减少和终止对华合作成为理性选择,短期我国集成电路高端人才供给、技术支持、业务合作被“阻断”,美国加速了集成电路产业对华脱钩进程。

三是正常的市场交易被添加“威胁”符号,我国电子设计自动化软件企业进军海外市场面临巨大压力。在美国限制先进设计软件(如全栅场效应晶体管,GAAsFET)对华出口的同时,实际上也给中国电子设计自动化软件贴上了不安全的“标签”。作为一个知识深度和广度极高的行业,电子设计自动化软件有赖于用户参与以降低其“黑箱效应”,在美西方极力鼓吹国家安全的背景下,在追赶发展的同时,还需要进一步提升透明度、强化国际合作和行业合作。

五、电子设计自动化软件发展和赶超的多层生态战略

立足于高度集中和快速变化的产业结构,在已有完善产业生态和外部打压的背景下,我国电子设计自动化软件的发展和赶超需要立足于生态系统中不同生态要素,以多层生态战略共同推进,形成在创新生态、产品生态、产业生态和国际竞争生态中的竞争优势(图 2),通过多种方式实现后发者的生态赶超。

① 数据来源: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/desktop/worldwide>。

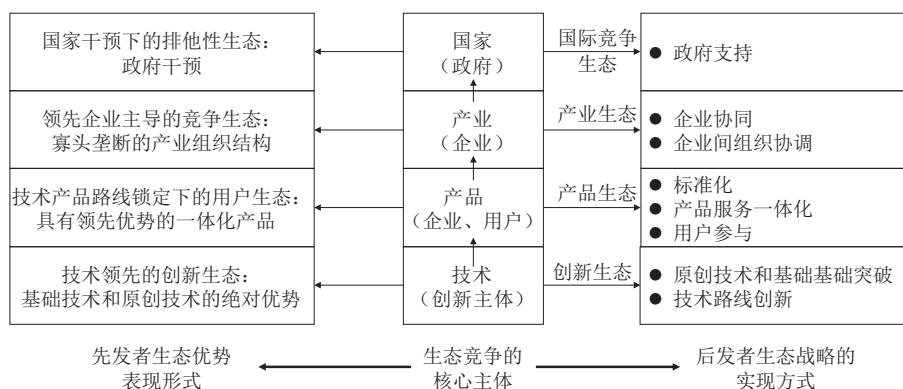


图2 集成电路电子设计自动化软件领域后发展赶超的多层生态战略

(一) 强化原创技术和基础技术突破,提升创新生态竞争力

在基础研究相对落后、行业研发投入不足、基础专利等关键创新能力供给不足的情况下,作为后发者的我国电子设计自动化软件企业发展必然受到很大的限制。为此,进一步强化我国在相关领域的原创技术和基础技术突破,创新技术路线和实现路径,是从根本上破解我国电子设计自动化软件竞争力被生态锁定的根本(曲永义和李先军,2022)。一是要强化基础研究,加速共性技术供给(王楠等,2020)。创新基础研究的财政支持模式,推动对于“无尽前沿”的“无边界探索”,强化科技成果转化收益对基础研究的再投入,财政补贴支持企业加大基础研究。二是打造原创技术研发平台,推动多学科的交叉融合。电子设计自动化软件的直接技术呈现形式是软件计算,但背后却是计算光刻、信号处理、计算机语言等多学科、多领域技术的结合。在构建创新生态的过程中,既要关注基础知识和基础学科的发展以为科技的未来发展夯实基础,也要基于集成电路电子设计自动化软件开发的特定目标和任务加速推进研发平台建设,尤其是在人才培养过程中要注重复合型、多学科人才培养,夯实产业发展的人才根基。三是探索多元技术路线,从底层技术上破解先发者对集成电路电子设计自动化软件的垄断地位。利用人工智能、大数据、云计算、边缘计算等创新技术工具,探索“蓝图”描绘下的“自下而上”设计方式,加速模块化、标准化的IP核整合,并实现云上设计和系统整合,推动电子设计自动化软件与设计企业、制造企业等的全流程开源和深度合作。

(二) 突出产品开发和过程中的用户参与,打造一体化产品生态

操作系统、应用生态、指令集架构、电子设计自动化软件、IP核等构成的“厂商-用户”长链条生态是先发者在电子设计自动化软件领域构筑优势的重要原因,也是后发者短期内难以追赶的主要障碍。上下游、多方参与的软件生态是数字技术快速发展的重要驱动力量,在追赶和发展过程中也要遵循这一基本规律,强化多方参与共建生态。一是以标准化作为电子设计自动化软件发展的重要原则,把握行业增长的机会拓展标准化接口、模块、微系统等,逐步累计底层知识产权和产品信息;二是加速产品服务一体化发展,推动软件从产品授权向服务化转型,进一步降低用户使用成本,并利用服务过程不断优化和改进产品功能;三是吸引用户参与和价值共创,探索创新生态的社群合作新机制,以其作为产品开发和迭代的重要支撑力量。

(三) 强化企业间协同和有效协调,加速产业发展和赶超

针对当前我国集成电路电子设计自动化软件企业总体规模较小、产品主要集中在点工具、单个企业竞争力相对较弱的现实,直面行业巨头竞争劣势显著。然而,近年来在行业快速发展和政策支持的双重激励因素下,大量初创中小微型电子设计自动化企业应运而生。要从根本上实现赶超发展,需要强化企业间的有效协同,形成在这一领域的合力。一是立足于自身的技术、客户优势等,选择细分领域尤其是在智能汽车、穿戴设备、智能制造等“跨时代产品”新需求的设计工具和制造软件,逐步累计和提升自身在点工具、线工具上的竞争力,避免“扎堆”进入“红海”领域后的恶性竞争;二是强化企业间的技术和战略协同,探索行业内的专利池模式、基础模块共享模式等,以企业间的技术、能力共享来降低成本和提升能力,打造虚拟企业联盟以强化各方的战略协同性;三是发挥企业间组织的功能,尤其是行业协会、标准化组织、企业联盟等在协同推动企业间合作的功能,治理行业价格战、重复产品等无序竞争的乱象。

（四）科学发挥“有为政府”功能，提升全球生态参与度与竞争力

从近年来美国强化对集成电路电子设计自动化软件的行动来看，除了直接限制美国企业高端产品出口中国之外，也利用财政政策^②等多种方式对本国企业给予支持，这不仅因为电子设计自动化软件的关键重要性，也因为其高研发投入和高风险特征。为此，在当前面临外部打压的全球竞争生态中，要切实发挥政府“有形的手”功能，促进行业高质量发展。一是以良好的生态环境吸引市场主体和创新主体进入和成长，繁荣电子设计自动化软件的市场生态（邵珠峰等，2022）。重点是强化对软件等知识产权的保护，以较低的税收政策鼓励市场主体的进入，加快产业所需人才的培养，发挥国有企业对国产软件采购的牵引功能。二是以有效的协同机制推动生态网络中各类主体的良性互动，形成各类主体错位竞争和有序合作的产业生态。重点是发挥政府在连接企业、高校科研院所、中间组织等各类主体的功能，促进创新者、生产者、使用者的有效互动（张毅和闫强，2022）。三是以强大的创新能力驱动生态网络的持续成长和不断升级，打造具有全球竞争力和自主可控能力的产业生态。发挥国家在创新政策和产业政策中的积极作用，加快创新投入、加速创新成果转化。四是通过主动融入生态并提升自身在生态位中的势能，最终形成“你中有我、我中有你”的大产业生态。发挥国家在全球多边合作中的重要作用，强化区域合作和全球合作，营造良好的外部环境。

六、政策建议

基于生态赶超和产业发展的目标，应当在顶层设计、系统设计、产权保护等方面发挥国家的力量，同时强化在人才和基础创新中的短板，主动融入全球产业生态，支持电子设计自动化软件的高质量发展。

（一）树立产业发展整体安全观，形成战略上的顶层设计

与一般意义上的产品不同，电子设计自动化软件属于生产工具和中间产品，其对产业长远发展和安全至关重要。因此，应发挥国家在安全和产业基础中的关键作用，着眼于产业生态发展的整体安全，在国家顶层设计上高度重视其安全与发展。2020年初至今最高层对科技产业的发展重视程度空前，2021年5月的两院院士大会上首提工业软件，行业迎来重要政策拐点。为推动电子设计自动化软件的国产替代保障国家安全，需要树立整体战略安全观：

一是从认识上坚定国产电子设计自动化软件企业自主发展的信心。早在1991年“熊猫系统”的诞生就说明了举国体制推动电子设计自动化软件自主创新是具备现实可行性的，尽管随着集成电路制程的进步对软件要求不断提升，但在面临美国及其盟友的压力下，自力更生和自主创新实现在这一领域的突破是必要的，也是可行的，这是中国集成电路产业发展的基本信念。

二是从战略上考虑系统性的突破，形成对美国封锁的反制能力。美国近年来精准打击我国的高科技企业，日本2019年对光刻胶等三种材料出口至韩国的管制引发韩国的紧急行为，从中可以看出，除了传统的进入壁垒、关税壁垒、非关税壁垒之外，在某一领域具有优势的国家可以通过“断供”影响他国的产业发展乃至经济安全。为此，要保障集成电路产业甚至数字产业安全，需要我国在特定领域形成绝对控制力的非对称优势，以在面临威胁时形成反制能力，以“伤敌一千自损八百”的战略威慑保障产业安全。

三是从国家层面协同推动芯片和软件系统生态的建设。在关注电子设计自动化软件的同时，要统筹推进操作系统、开源生态、指令级架构、IP核等的整体软硬件系统、用户生态的协同推进，否则寄希望于实现的国产替代只能停留在技术和实验室层面而非产业层面。同时，根据《“十四五”软件和信息技术服务业发展规划》，需要加快建立软件企业、设计企业、代工厂、封测企业等上下游企业联合技术攻关机制，突破针对数字、模拟及数模混合电路设计、验证、物理实现、制造测试全流程的关键技术，完善先进工艺工具包。

四是在教育和人才培养方面树立全周期发展观。软件与操作系统一样具有很强的路径依赖，初学者学习习惯将极大地影响其后续使用。建议加大面向青少年的国产系统和终端投入，为青少年接触到国产软件

② 早在2018年7月，DARPA的电子复兴计划（ERI）年度峰会上公布了2017年9月首批启动的6大项目合作研究团队，旨在扶持和培养在材料与集成、电路设计和系统架构三方面的创新性研究。其中，POSH项目的目标是创建一个开源的硅模块库，IDEA项目希望能够生成各种开源和商业工具，以实现自动测试这些模块，以及将其加入到SoC和印刷电路板中。两个项目将投入1亿美元，成为有史以来投资最大的EDA研究项目之一。楷登电子公司获得了第一批入围扶持项目中的最高资助额2410万美元用以IDEA项目研究，新思科技在Posh项目的研发也获得610万美元的资金补助。再有，2022年8月美国总统拜登签署的《2022年芯片与科学法案》其中设置的5亿美元“美国芯片国际科技安全创新基金”用以支持建立安全可靠的半导体供应链，2亿美元“美国芯片劳动力和教育基金”共用以培育半导体行业人才，其中很大一部分用于支持电子设计自动化软件的供应链和人才。

和应用创造条件,形成早期认知;在大学教育中要编制好与国产软件对应的教材,帮助工程师从一开始建立使用国产软件的习惯。

(二)鼓励创新型企业发展,形成在特定领域上的独特竞争优势

在现有技术线路下实现对先发者的赶超是极为困难的(李丹丹和马丽仪,2016),除非行业出现新的机会窗口期,这可能是技术变革、也可能是模式变革或在位企业的战略失败。事实上,后发企业赶超往往通过创造一个新的技术轨道形成对现有需求的有效替代。在摩尔定律向超越摩尔定律演化的窗口期,可为软件企业、设计企业、制造企业提供了新的发展机遇,具体来看,可鼓励行业内企业延续如下几方面的创新发展。

一是鼓励软件企业创新商业模式,以差异化优势吸引客户。例如,软硬件一体化、软件服务与硬件支持平台整合、软件与IP核并行发展的模式,为集成电路设计企业提供系统解决方案(从设计到流片)。此外,可考虑设计软件和IP核的平台化模式,以大平台整合各类工具,为芯片设计企业提供系统化方案。

二是把握人工智能(artificial intelligence, AI)发展所带来新的技术窗口期,加速我国电子设计自动化软件企业的后发赶超。近年来,英伟达、谷歌和国际商用机公司等芯片制造商都在测试有助于在复杂芯片上布局和布线的人工智能工具,这是当前芯片设计的新趋势。对于国内电子设计自动化软件企业来说,可加速推动AI技术在电子设计自动化工具中的运营,强化AI技术运用,支持芯片设计企业在芯片实现决策、性能预测、性能黑盒优化和自动化设计等方面的优化,形成对传统电子设计自动化巨头已有传统设计路径的有效赶超^③。

三是进一步支持细分领域企业发展,打造隐形冠军。现有主流的逻辑芯片和存储芯片设计已被行业巨头“垄断”,但是,更多的功率器件、模拟器件、分立器件等芯片的设计工具具有自身的特殊性,这也为我国电子设计自动化软件企业发展创造了机会。一方面,要关注细分领域的需求,扎根细分领域逐步发展;另一方面,要抓住细分市场客户的需求,例如,汽车芯片从独立器件向系统芯片(system on chip, SoC)、微控制单元(microcontroller unit, MCU)转变的过程中,满足汽车芯片设计企业的新需求,提供系统性解决方案或创新模式,以形成在新领域的竞争优势。

四是给予产业相对较长的支持周期,驱动行业有序竞争和发展。从国外电子设计自动化软件企业发展的历程来看,是新创企业不断出现、行业不断竞争整合的过程,且在此过程中形成一些具有竞争力的细分企业和具有整合能力的龙头企业。为此,为推动我国电子设计自动化软件企业发展,需要着眼于支持企业的长期发展,培育新创企业萌发并形成良好的产业生态。

五是利用好行业反垄断的政策工具,在保护创新的同时防范行业巨头对后发企业的非公平竞争。尤其是关注领先企业利用搭售、赠送、倾销等方式对创新型企业的“降维打击”,构建产业发展的公平竞争环境。

(三)强化知识产权保护,鼓励软件企业加大研发投入

由于高昂的研发成本和近乎于零的边际成本,知识产权保护成为关乎软件企业生死存亡的关键。目前,电子设计自动化软件巨头与晶圆厂和设计公司工艺的高度融合,晶圆厂工艺的更新会带来电子设计自动化工具的更新换代,而旧版工具无法在新工艺下进行设计,设计厂商会持续促使电子设计自动化厂商更新技术与应用,进而反哺晶圆厂设计效率的提升,使得电子设计自动化软件具有天然的“防盗版”属性。但是,对于初创企业来说,难以像大企业一样保持与产业链中其他企业的相互锁定关系,且难以进入具有强大支付能力的大型设计和晶圆制造企业,初创企业面临更高的知识产权损失风险。因此,要支持国产电子设计自动化软件企业发展,需要切实落实知识产权保护制度,保护中小软件企业知识产权。

一是打造数字加密技术平台,支持中小软件企业产品的数字加密。政府支持半导体行业协会或第三方机构联合电子设计自动化企业共同开发软件数字加密平台,面向软件供应商和用户提供软件购买、安装、验证、售后服务的一体化交易和服务平台,不仅能为用户提供多元化选择服务,更有利于知识产权保护和产品销售。

二是强化国产软件的专利池管理,以形成对国外巨头的谈判能力。针对我国电子设计自动化软件企业

③ 未来EDA软件表现出如下三种特征:①智能化,可将过去的设计经验和数据吸收到软件中,实现芯片从需求到设计的机器智能理解、智能实现和智能验证,大幅减少芯片设计、验证、布局布线等工作的人力占比,缓解当前芯片设计人才紧缺的困境;②开放化,通过标准化以及生态的开放,可以实现工具私有接口和数据互通,建立起更友好的产业链上下游生态圈,软件厂商、用户、第三方可以以系统需求为导向进行高效设计,方便流程自动化和AI智能处理的集成,大大加快国产EDA实现全领域和全流程闭环;③云端弹性化,互联网云平台提供着近乎无限的计算弹性、存储弹性和访问便捷性,下一代EDA可以与云平台和云上多样化的硬件结合,充分利用成熟的云端软硬件生态,使得EDA的付费模式、使用模式、使用地点、使用设备都更加灵活,降低EDA的使用门槛,进一步扩大用户群体和市场规模。

规模较小、专利数量较少、新成立企业数量较多的现实,可推动电子设计自动化软件企业联合组建专利池或知识产权联合体,一方面有利于企业间的专利和技术共享,另一方面有利于应对行业巨头以专利等知识产权对后发企业的打压。

三是加快落实知识产权保护援助制度,提升中小软件企业的知识产权保护能力。设立专司电子设计自动化软件等软件企业的知识产权援助机构,形成对行业内相关知识产权的整理、申报、保护、产权维护等全方位支持体系,形成软件代码和相关文档、软件核心算法、技术构思、图形用户界面、标示等知识产权从开发到侵权维护的全方位支持。

(四)创新人才培养和引进机制,夯实产业发展的人才基础

人才缺口和外部引入受限是我国集成电路行业当前面临的共性问题,在电子设计自动化软件领域尤甚。基于电子设计自动化软件的特点及人才领域的现实困难,需要进一步创新人才培养和引进机制,夯实其发展的人才基础。

一是强化集成电路人才培养过程中的基础学科教育,立足长远夯实基础研究的人才根基。在目前全国试点设立微电子学院、集成电路一级学科的同时,进一步加强与数学、物理、化学、材料、电子、电磁、机械、光学等基础学科与应用学科的融合,以夯实基础学科来奠定未来技术领先的基础,以做优应用学科来实现对集成电路产业的前瞻性布局。在推动电子设计自动化软件开发教育的同时,要强化电子设计自动化方法学的教育,强化电子设计自动化作为工业软件基础的研究。

二是探索职业技术学院与集成电路企业的合作,培养具有工匠精神、团队精神和敬业精神的人才。建议进一步放宽地方兴办综合性大学的要求,鼓励集成电路发展基础较好的地方(例如无锡)自办或合办集成电路大学,为地方经济社会和产业发展培养和输送人才。

三是创新人才招引和使用方式,切实发挥人才的知识和创造效能。要注重对团队的招引,实现系统性方案的整体形成和落地;探索人才的共享使用方式,尤其是强化全球范围内的人才共享合作模式,提高人力资源利用水平。

(五)平衡好自主创新和开放合作,形成自主可控的发展均势

自主创新是保证产业安全和摆脱受人制肘的必然选择,同时要关注集成电路产业的“黑箱”特征和全球化发展规律强化对外开放和合作,助推我国在全球产业链上的自主可控并形成有效的战略均势(曲永义和李先军,2022)。

一是要立足国内国际双循环和国家安全的视角,坚定对集成电路全产业链发展的“备份”能力。防范“波动性封锁”对产业发展造成的预期冲击,避免重蹈1994年后巴黎统筹委员会取消对电子设计自动化软件禁运政策后放弃自我研发的覆辙。强化在逻辑芯片、模拟芯片、分立器件等的全流程备份能力,提升我国在极端情况下的生产生存能力;强化在部分领域的优势构建,形成可与竞争对手合作的可能领域。

二是要强化对外开放,创新全球整合策略以深度推动电子设计自动化软件的国际合作。利用非官方合作交流渠道尤其是学术交流方式,主动融入到全球知识和技术网络中,避免前沿技术被“脱钩”;支持国际巨头中国总部的本地化发展,维持产业内中外企业的有序竞争态势,既能与国际巨头良好互动,也能成为推动国内市场发展的重要驱动力量。

参考文献

- [1] 郭朝先,苗雨菲,许婷婷,2022.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),42(2):22-30.
- [2] 李丹丹,马丽仪,2016.基于路径创造的后发国家技术赶超模型[J].技术经济,35(4):27-31.
- [3] 李先军,刘建丽,闫梅,2022.我国集成电路设备的全球竞争力、赶超困境与政策建议[J].产业经济评论,51(4):46-61.
- [4] 刘建丽,2023.芯片设计产业高质量发展:产业生态培育视角[J].企业经济,42(2):5-16,2.
- [5] 曲永义,李先军,2022.创新链赶超:中国集成电路产业的创新与发展[J].经济管理,44(9):5-26.
- [6] 邵珠峰,赵云,王晨,2022.新时期我国工业软件产业发展路径研究[J].中国工程科学,24(2):86-95.
- [7] 王楠,刘萱,王宏伟,2020.新时代背景下我国创新生态系统建设研究[J].技术经济,39(2):99-106.
- [8] 张毅,闫强,2022.后发企业技术创新的演化动力机制研究——以华为早期(1988—1995)研发为例[J].技术经济,41(2):38-49.

Crack the Dominance of First Movers by Multi-layer Ecological Strategy in the Field of EDA

Li Xianjun, Liu Jianli, Zhang Renzhi

(Institute of Industrial Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100006, China)

Abstract: During the development of the integrated circuit (IC) industry, electronic design automation (EDA) emerged and developed with technological progress and industrial division of labor. EDA has become the basic support tool that runs through the entire process of IC. Although EDA is extremely important, its market size is small. The current global market structure shows the following characteristics, which U.S. companies have first-mover dominant advantage and are in an oligopoly. China's development is relatively lagging behind and its development is severely limited under the background of U.S. suppression, which has also become the key to the "stuck" of China's IC industry. In the process of the latecomers breaking through the dominant advantages of the first movers to obtain development opportunities, it is essential to pay special attention to the participation and reconstruction of the industrial ecology. Through the implementation of multi-layer ecological strategies in innovation ecology, product ecology, industrial ecology and international competition ecology, we can gradually build up the niche advantages of late-comer enterprises and drive the high-quality development of EDA. Focusing on the goal of ecological catch-up and development in the future, in the process of supporting the development of EDA, the power of the country should be exerted in the aspects of top-level design, system design, and property rights protection, and at the same time strengthen the shortcomings in talents and basic innovation and integrate into the global industrial ecology.

Keywords: IC industry; EDA; multi-layer ecological strategy; first-mover dominant advantage