

CPU指令集架构科普

<https://mp.weixin.qq.com/s/p7FKgx-sFGDJF0y4IGWvvyg>

None

Mon Apr, 05 00:00

来源：内容转载自公众号「驭势资本」，谢谢。

美国太平洋时间2020年9月13日，美国图形处理器和人工智能芯片巨头英伟达（NVIDIA US，无评级）在官网宣布计划以总价为400亿美元的英伟达股票和现金从日本的软银和软银愿景基金收购全球最大处理器内核IP（Intellectual Property）供应商ARM Limited。据ARM官网介绍，全球超过95%的智能手机基于ARM IP开发，中美贸易摩擦的时代背景下，继X86架构被美国牢牢掌控之后，ARM架构或同时被美国公司掌控，引发市场对中国缺少自主处理器架构和芯片产业链安全广泛关注。

因此，我们对处理器发展史、ARM公司、ARM与中国的合作以及处理器架构自主可控发展等方面进行研究分析，我们认为中国芯片公司和ARM在移动互联时代合作中实现双赢，国产智能手机、多媒体领域SoC达到世界领先，高端32位MCU实现了突破。未来智慧物联时代带来极为丰富的应用场景和智能设备需求，基于ARM架构的国产MCU、SoC应用有广阔的发展空间。同时，我们认为英伟达收购ARM或将重塑全球芯片产业格局，在中美贸易摩擦背景下，ARM架构因其技术和市场地位有成为管制技术的潜在可能性。我们认为这种不确定性或将刺激中国自主化进程提速。RISC-V架构凭借开源和开放等优点，有望成为中国AIoT领域自主可控处理器架构的最佳选择。

从数千晶体管到百亿晶体管，CPU在过去近五十年飞速发展

中央处理器单元（CPU，Central Processor Unit）是计算机系统的核心。 CPU的功能主要为处理指令、执行操作、控制时间、处理数据。中央处理器主要包括逻辑运算器、控制器和寄存器等部件。同时，CPU还包括高速缓冲存储器（Cache）及实现它们之间联系的数据、控制的总线。其中，逻辑运算器是多功能的运算单元，主要进行相关的逻辑运算，如执行移位操作和逻辑操作。除此之外，逻辑运算器还可以执行定点或浮点算术运算操作，以及地址运算和转换等命令。控制器则是主要用来对指令进行分析并且能够发出相应的控制信号。寄存器则是用来暂存指令、数据和地址信息。

1971年11月15日，美国英特尔公司（INTEL US,无评级）推出世界第一款商用计算机微处理器Intel 4004，被认为是CPU发展史的开端。作为4位处理器，Intel 4004由10um制程工艺在2英寸晶圆上打造，集成了2300个晶体管，主频为740kHz。而到了49年后的2020年，第十一代酷睿处理器芯片基于英特尔10nm工艺打造，将集成超过百亿个晶体管，最高主频可高达4.8GHz。这颗CPU芯片不再是单一的CPU，而是集成了全新架构的Willow Cove内核、Iris X图形处理器、内存控制器、图像处理器、媒体解码器、电源管理、神经元加速器和各类高速接口控制器等各种组件。其中Willow Cove内核正是这颗CPU芯片集成的传统意义上的CPU。

现代CPU成为处理器（processor）芯片的核心组件之一，而不仅仅是唯一组件。 在过去50多年间，芯片制程工艺在摩尔定律的指引下从数十微米演进至5纳米，芯片的集成度不断提升。现代

的应用处理器芯片（AP，application processor）、微处理器（MPU，Microprocessor Unit）、微控制器（MCU、Microcontroller Unit）、片上系统（SoC，System on Chip）等数字逻辑运算芯片在CPU外围集成了其他功能多样的组件。这些超大规模集成电路的CPU模块被称为处理器内核（Core）。2020年10月14日发布的苹果5nm移动终端处理器芯片A14 Bionic集成了118亿个晶体管，2020年10月22日，华为发布的麒麟9000 5G SoC集成了超过150亿个晶体管。

多核技术的出现，在芯片基板上集成多个CPU内核，进一步提升了现代处理器芯片的性能。多个内核集成为一个CPU集合（cluster）共享一级高速缓存。2012年，ARM又引入大小核技术（bigLITTLE technology），在SoC的CPU集合里同时集成了高性能的大核（Cortex-A7x）和低功耗小核（Cortex-A5x），在不同应用场景下切换，从而达到性能和待机时长兼顾。大小核的CPU集合在智能手机芯片中最为常见。

指令集架构是CPU控制和计算指令的规范标准

计算机指令（Instruction）是计算机硬件直接能识别的命令。指令是由一串二进制数码组成。一条指令通常由两个部分组成：操作码和地址码。操作码指明该指令要完成的操作的类型或性质，如取数、做加法或输出数据等；地址码指明操作对象的内容或所在的存储单元地址。计算机程序在硬件上执行是由成千上万条指令组成的。一段程序通过编译翻译成汇编语言，而后通过汇编器翻译成一条一条机器码。这些机器码是由0和1组成的机器语言表示，也就是计算机指令。

指令集架构（Instruction Set Architecture）是指一种类型CPU中用来计算和控制计算机系统的一套指令的集合。指令集架构主要规定了指令格式、寻址访存（寻址范围、寻址模式、寻址粒度、访存方式、地址对齐等）、数据类型、寄存器。指令集通常包括三大类主要指令类型：运算指令、分支指令和访存指令。此外，还包括架构相关指令、复杂操作指令和其他特殊用途指令。因此，一种CPU执行的指令集架构不仅决定了CPU所要求的能力，而且也决定了指令的格式和CPU的结构。X86架构和ARMv8架构就是指令集架构的范畴。

指令集架构以其复杂性可被分类为复杂指令集架构（CISC，Complex Instruction Set Computer）和精简指令集架构（RISC,Reduced Instruction Set Computer）两大类。CISC和RISC指令集架构是计算机指令系统的优化发展中先后出现。在计算机发展初期，计算机的优化方向是通过设置一些功能复杂的指令，把一些原来由软件实现的、常用的功能改用硬件的指令系统实现，以此来提高计算机的执行速度，这种计算机系统就被称为复杂指令系统计算机。20世纪80年代，尽量简化计算机指令功能的基本思想被提出，功能简单、能在一个节拍内执行完成的指令被保留，而较复杂的功能用一段子程序来实现，这种计算机系统就被称为精简指令系统计算机。

X86架构是目前唯一的主流复杂指令集，垄断个人计算机和服务器处理器市场。X86架构是英特尔公司在1978年发布。在过去四十多年，x86家族不断壮大，从桌面转战笔记本、服务器、超级计算机。目前，X86架构授权被英特尔、超微半导体（AMD US，无评级）和台湾威盛三家把持。其中，英特尔和AMD的X86处理器在桌面电脑和笔记本市场占据主导地位。据2017年IDC的报告统计，X86处理器在服务器市场占有率也高达96%。根据Mercury Research统计，2019年台湾威盛仅占有0.1%的X86桌面处理器市场份额。

ARM指令集架构作为目前最成功RISC架构，主导了智能手机和物联网芯片处理器市场。根据英伟达公告，基于ARM架构的芯片已累计出货1800亿颗。ARM架构处理器在智能手机芯片、车载信息芯片、可穿戴设备、物联网微控制器等领域占到90%以上市场份额。90年代，MIPS和Alpha作为知名RISC在与X86竞争计算机市场中失败，又在错过智能终端高速发展的机遇中走向衰弱。2010年发布的RISC-V作为从发明伊始即以开源为最大特色的RISC ISA受到全球学界、产业界的高度关注。全球顶级学府、科研机构、芯片巨头纷纷参与，各国政府出台政策支持RISC-V的发展和商业化。**RISC-V有望成为X86和ARM之后ISA第三极。**

处理器微架构是指令集架构的物理实现

冯·诺依曼体系结构是现代计算机的基础。1946年美籍匈牙利科学家冯·诺伊曼提出存储程序原理，把程序本身当作数据来对待，程序和该程序处理的数据用同样的方式存储，并确定了存储程序计算机的五大组成部分和基本工作方法。冯·诺依曼体系结构主要由CPU、存储器（Memory）和输入输出设备（I/O Device）组成。在该体系结构下，指令和数据需要从同一存储空间存取，经由同一总线传输，无法重叠执行。冯·诺依曼体系的CPU工作分为5个阶段：取指令阶段（instruction fetch）、指令译码阶段（instruction decode）、执行指令阶段（execute）、访存取数（read memory）和结果写回（write back）。

哈佛结构是另一种主要计算机架构体系。与冯诺依曼处理器相比，哈佛结构的指令和数据存在两个相互独立的存储器模块，使用两条独立的总线连接CPU和存储模块。而在改进型哈佛结构（Modified Harvard Architecture）中，指令和数据存在两个相互独立的存储器模块，但是共用地址和数据总线。现代的复杂芯片上，已经看到纯粹的冯·诺伊曼体系或者哈佛体系，而大多数能看到是两者融合或者并存的体系。

实现指令集架构的物理电路被称为处理器的微架构（Micro-architecture）。因此，通俗来讲处理器架构就是处理器电路。通常，具备独立设计处理器微架构的企业被认为有处理器研发能力。大多数情况下，一种处理器的微架构是针对一种特定指令集架构进行物理实现。少部分处理器架构设计为了更好的兼容性，会在电路设计上实现多个指令集架构。虽然，指令集架构可以授权给多家企业，但微架构的设计细节，也就是对指令的物理实现方式是各家厂商绝对保密的。由于处理器的功能要求、使用场景不同、各家企业设计技术的差异等因素，即使基于同一指令集架构，各个企业也会设计生产出不同的处理器架构。

在计算机时代，英特尔和AMD等主要处理器厂商研发处理器架构仅供应自家处理器芯片。作为垄断个人电脑和服务器的X86架构阵营，英特尔和AMD继续延续只为自家处理器芯片设计供应处理器内核的模式。2016年，AMD和中国服务器企业海光合作，授权给海光的Zen架构正是处理器微架构。这个授权物实际就是AMD根据X86架构设计完成的处理器电路，并不是X86指令集架构。即使是以这种IP授权方式的合作，在X86阵营中也是极少的个例。

在智能移动设备兴起的近20年，以ARM模式为代表的内核微架构IP授权模式兴起。ARM开发内核微架构后，将它们以IP形式上架出售，芯片厂商以ARM授权的内核为基础设计芯片使用或对外销售。基于ARM精简指令集架构的ARM内核微架构IP选择多样、设计精简可靠、在低功耗领域表现优异，这种授权模式在以手机、平板为代表的移动终端芯片、机顶盒、视频监控等应用

媒体芯片等应用为代表移动智能领域获得广泛的成功。ARM因此也成为移动互联时代的处理器IP授权霸主。

产业分工细化，ARM成为处理器IP授权领域王者

半导体产业垂直分工催生芯片IP产业

20世纪90年代开始，信息产业核心从个人计算机向手机产业过渡，信息时代从互联网为主体的阶段向移动互联阶段过渡。智能移动终端和智能多媒体产品更加复杂多样，对芯片功能和性能需求差异化增加了设计的复杂度。另一方面，随着摩尔定律推进，先进工艺制程芯片设计研发资源和成本持续增加。根据2020年IBS报告预测，一款先发使用5nm制程芯片设计成本将高达4.97亿美元,相比16nm增长多达5倍；即使5nm将来成为成熟制程，单款芯片设计成本也将高达2.5亿美元，接近7nm的先发芯片设计成本。全球半导体产业在fabless+foundry+OSAT（无晶圆设计+晶圆代工+封装测试）的分工大趋势下继续细化分工，芯片设计产业进一步拆分出芯片IP（Intellectual Property）产业。

半导体IP（Intellectual Property）指已验证的、可重复利用的、具有某种确定功能的集成电路模块。IP供应商专注开发IP微架构，通过收取IP架构授权费、版税进行盈利。设计公司在芯片设计中将得到授权的IP直接集成到芯片中实现功能，避免重新开发。根据Markets and Markets预测，半导体IP市场到2024年将达到65亿美元规模，市场增长的推动因素是消费电子领域不断进步的多核技术和现代SoC设计领域持续增加的需求。根据IPnest统计，2019年包括CPU、GPU、NPU、VPU、DSP和ISP六大类处理器IP占全市场51%份额。

ARM与移动互联时代互相成就

ARM英文全称Advanced RISC Machines，总部位于英国剑桥。该公司成立于1990年11月，是苹果电脑，Acorn电脑集团和VLSI Technology的合资公司。ARM不制造芯片，也不销售实际的芯片给终端客户，而是通过授权其RISC ISA和处理器设计方案，由合作伙伴生产出各具特色的芯片。ARM公司利用架构授权的模式与伙伴达成双赢，迅速成了全球性的精简指令集微处理器标准的缔造者。2016年7月，日本软银（Softbank）宣布斥资243亿英镑收购ARM公司，但在业务上仍然保持独立运营。

ARM凭借在通用处理器IP领域垄断优势，在IP营收上稳居全球IP供应商排名榜首。基于ARM指令集开发的ARM处理器内核被广泛应用于智能手机、电视机、汽车、智能家居、智慧城市和可穿戴等设备上。据软银2017年世界大会公布的ARM市场份额显示，超过99%的智能手机、调制解调器，超过95%的车载信息设备和超过90%的可穿戴设备搭载了ARM架构处理器。

ARM不出售芯片只授权架构，商业模式开创半导体行业先河

作为半导体企业，ARM独特的商业模式是不设计和制造整芯片，而是专注处理器内核架构的授权。ARM一直以来保持作为处理器IP供应商的中立地位。中立地位帮助ARM通过架构授权广泛推广了基于ARM架构的生态系统。ARM处理器架构授权主要分为指令集授权和处理器架构授权两个层次：一是ARM指令集架构授权，二是ARM处理器架构授权。公司收入来源包括：1) 对半导体公司的授权费用，一定时间范围内是一次性的；2) 半导体公司向其他客户销售芯片的

royalty费用，客户每生产一颗芯片ARM都有一定百分点的版税收入；3) 向半导体公司、用户提供技术咨询服务的费用。

ARM通过指令集架构授权在技术上与合作伙伴互相紧密对接

ARM指令集架构授权指ARM将ARM RISC精简指令集授权给受让方。受让方可以对ARM指令集进行大幅度改造，甚至可以对ARM指令集进行扩展或缩减。之后，受让方根据自己改进过的指令集研发处理器架构，从而在根源上做到了对处理器架构的差异化设计，保持对自研芯片的掌控力，达成独特竞争力同时又兼容ARM的完善生态环境。而ARM在这种合作模式中与合作伙伴结成高度紧密的技术合作关系。

苹果的A系列处理器是基于ARM指令集架构授权自研内核的成功典范。2012年9月，苹果随iPhone5上市发布了A6处理器SoC，这颗SoC基于ARMv7架构打造的Swift内核微架构开启了苹果基于ARM架构自研处理器内核的序幕。2013年9月，苹果率先发布搭载基于ARMv8架构研发的64位Cyclone架构的双核A7处理器。A7作为世界首款64位智能手机处理器，在性能表现力压还在32位四核方案上竞争的安卓阵营。苹果A系列处理器内核性能力压所有安卓阵营竞争对手序幕由此开启，并延续至今。2020年，苹果宣称新发布的A14 Bionic芯片性能已经堪比部分笔记本处理器。

苹果在今年WWDC2020宣布Mac电脑将转向使用公司自主开发的基于ARM架构处理器。我们认为，苹果结束与英特尔长达15年的合作，转而使用自研ARM处理器最重要目的是进一步封闭苹果的软硬件生态。苹果希望如同iPhone的成功一样，从硬件上得到充分自主，做到差异化竞争优势。从ARM角度来看，苹果一旦成功也将帮助ARM实现一直以来希望撕开X86垄断的个人计算机市场的野心。

ARM提供多样化处理器内核IP授权，与生态伙伴实现双赢

ARM处理器架构授权指ARM将自行设计的处理器内核IP授权给客户。客户可以直接将内核RTL (Register Transition Level) 代码在芯片前端设计时集成在芯片处理器模块中。客户也可以对处理器缓存、核数、频率进行配置。通过系统总线与其他的功能模块、外设接口、主存储接口模块等连接，生成完整的芯片。ARM为各种应用场景提供多样化的家族化处理器IP解决方案，覆盖高性能计算、高性能实时、低功耗嵌入式、云端计算、硬件安全和高性能机器学习等场景。ARM的处理器IP授权模式为合作伙伴提供可靠处理器的同时降低芯片开发成本，推动应用的创新。而广泛的合作伙伴丰富了ARM的生态，奠定ARM在智能时代中智能手机、物联网等领域处理器主导地位。

ARM Cortex系列处理器内核是ARM家族中占据处理器IP市场的核心系列。其中，Cortex-A系列面向高性能计算需求、运行丰富操作系统和程序任务的应用领域。例如智能手机、平板电脑、机顶盒、数字电视、路由器和监控SoC芯片等。Cortex-A目前有A7x系列为代表的性能大核产品线 and A5x系列为代表低功耗小核产品线。

现代多核SoC为了兼顾性能峰值表现和低功耗，经常同时集成一定数量大核和小核。其中大核运行短时间的高性能需求任务；小核运行低性能需求的任务或者在待机状态支持背景任务运行。

目前，除了苹果自研处理器内核以外，以高通、海思、联发科为首的安卓智能机SoC芯片设计企

业都采用Cortex-A7x和A5x搭配作为内核集合（cluster）配置。其中，高通和华为会在架构上做不同程度的优化。

相比Cortex-A处理器内核，Cortex-M处理器内核被设计成面积更小，能效比更高。通常这些处理器的流水线很短，设计简单，最高时钟频率很低，功耗表现优异。Cortex-M系列在目前智能互联时代应用前景非常广阔，覆盖智能测量、人机接口设备、汽车和工业控制系统、大型家用电器、消费性产品和医疗器械等应用需求，Cortex-M在目前全球32位MCU市场占据主导地位。

Cortex-R处理器是面向实时应用的高性能处理器系列，运行在比较高的时钟频率，其响应延迟非常低。主要应用于硬盘控制器，汽车传动系统和无线通讯的基带控制等领域。

半导体

ARM助力国产芯片质与量双击，收购案或刺激自主可控提速

智能移动设备普及，ARM Cortex-A助力国产智能终端SoC崛起

根据CINNO Research发布的最新数据显示，2020年上半年，国内市场智能机销量约1.4亿部，其中华为（含荣耀）市场份额达到40.2%。另据市场调研机构Counterpoint发布的报告显示，2020Q2海思麒麟芯片占据41%的国内智能手机芯片市场份额，成为国内第一。同时，海思麒麟芯片在全球智能机芯片市场份额提升到16%，超过苹果和三星。近年来华为手机质和量形成双击，特别是旗舰手机得到全球市场广泛认可。除去全球疫情蔓延和美国打压带来的国货消费潮等偶然因素，我们认为内在主因是基于硬件上的自主创新获得的用户体验提升和形成差异化竞争。搭载ARM处理器的华为海思自研的麒麟芯片是一系列硬件创新的核心之一。

半导体产业fabless+foundry+OSAT分工体系从工程上成就了包括麒麟芯片在内的海思芯片的成功。华为对海思不断持续巨额投入带来的芯片设计能力提升成功对接全球最先进的制程工艺和封装工艺。而在芯片设计领域，ARM的处理器IP授权模式成为历代麒麟芯片成功的重要因素之一。ARM的授权模式对麒麟芯片积极影响有以下几方面：一是在创业初期，ARM的授权模式可以帮助作为后发者的海思在处理器内核性能上直接拉到和安卓阵营竞争对手同一个层级。二是对于ARM在智能手机领域的主导地位，使海思自研手机芯片能够借助ARM完善的生态，帮助华为手机快速进入主流智能机市场。三是基于消费电子市场的特点，ARM的处理器授权有效缩短了包括海思在内的企业开发周期和成本。

除了基于ARM公版内核架构开发芯片以外，华为已经具备基于ARM指令集架构的处理器内核开发能力。海思在麒麟990官方发布和配置表都宣称为使用“基于A76”（A76 Based）内核，显示海思已经对ARM处理器内核和指令集有深入了解，掌握了自行对架构修改的能力。2019年1月，华为跟进一步发布自研服务器芯片鲲鹏920。该服务器芯片搭载了64颗海思基于ARMv8架构自研的泰山内核。整体服务器性能较市场现有竞品提升20%。2019年5月，华为宣布获得ARMv8架构永久授权，并且强调华为海思有持续自行开发设计基于ARM授权架构的处理器。

近年来，智能手机SoC以外的国产智能终端SoC芯片也借助Cortex-A系列处理器IP逐步实现国产替代。国产搭载ARM架构处理器的SoC涵盖了智能高清机顶盒、IPC、网络摄像头、车载娱乐信息设备等。根据格兰研究院数据，2018年华为海思和晶晨股份（688099，无评级）分别占据国内60.7%和32.6%的IPTV/OTT机顶盒芯片市场。而在2013年，欧洲芯片巨头意法半导体还占据

国内机顶盒芯片市场30%以上。在安防领域，以海思为代表的国内厂商已经实现IPC芯片实现低端替代到全档次布局。

物联网时代MCU需求提升，本土厂商借助ARMCortex-M卡位高端市场

根据IC Insights数据，2019年MCU全球销售额为164亿美元。产品主要用于汽车电子、工控/医疗、计算机网络和消费电子等领域，占比分别为33%、25%、23%和11%。IC Insights同时预计MCU在经历2019年和2020年下滑后，将在2021年出现温和复苏，销售额将增长5%至157亿美元，其次是2022年将同比增长8%，2023年将同比增长11%。届时MCU收入将创下188亿美元的新高。全球MCU市场主要由瑞萨电子（日本）、恩智浦（荷兰）、英飞凌（德国）、微芯科技（美国）、三星电子（韩国）、意法半导体（意法）、赛普拉斯（美国）占据。

根据HIS和ASPENCORE数据，2019年中国MCU市场规模达到256亿人民币。中国MCU应用市场主要集中在家电/消费电子、计算机网络、汽车电子、智能卡、工控等领域，市场占比分别为25.6%、18.4%、16.2%、15.3%和11.2%。受益于国内物联网和新能源车行业的增长领先于全球，中国MCU市场规模在2008年到2018年间CAGR为7.2%，领先全球。同时，HIS预计2022年，中国MCU市场规模将达到319亿人民币，增速继续超过全球。预计2020年国产MCU厂商的销售额将达到148亿元人民币，占整个中国MCU市场的55%。

ARM Cortex-M处理器助力国内厂商卡位MCU市场的价值链上游。目前，国内MCU厂商在消费电子、智能卡和水电煤气仪表等中低端应用领域实现国产替代。随着物联网终端需求推进，物联网时代任务的复杂化对计算能力的要求将使MCU往16或32位设计。32位MCU是基于未来物联网的市场发展方向。既满足厂商上述要求又具有丰富生态系统资源的ARM Cortex-M系列处理器内核成为32位MCU内核市场主导。兆易创新、中颖电子等国内MCU厂商也纷纷借助基于ARM Cortex-M系列处理器的32位MCU积极布局国内中高端市场，向产业价值链上游卡位。国产32位MCU已经开始进入国外传统厂商所垄断的高端MCU市场。

作为国产IC设计领军企业，兆易主要提供基于ARM Cortex-M系列32位通用MCU产品，其GD32是ARM®Cortex-M3及Cortex-M4内核通用MCU产品系列，也是目前中国32位通用MCU主流产品，广泛应用于工业自动化、人机互动、电机控制、安防家弄、智能家居家电及物联网等领域。根据公司2020年中报，兆易MCU产品包括330余个产品型号、23个产品系列和11种不同封装类型，累计出货已超过4亿颗。2020年7月，兆易创新发布基于全新Arm Cortex-M33内核的GD32E5系列高性能微控制器，确定以无线连接、电池供电设备以及便携式、可穿戴设备、汽车级MCU几大方向的产品路线。

ARM收购案重塑全球产业格局，自主替代或将加速

美国太平洋时间2020年9月13日，美国图形处理器和人工智能芯片巨头英伟达（NVIDIA US，无评级）在官网宣布计划以总价为400亿美元的英伟达股票和现金从日本的软银和软银愿景基金收购全球最大处理器IP（Intellectual Property）供应商ARM Limited。英伟达表示本次收购计划旨在结合英伟达大的人工智能技术和ARM庞大的计算生态系统，推动英伟达成为从云端、智能手机、PC、自动驾驶汽车和机器人深入到边缘物联网的全球领先的AI公司。英伟达同时承诺延续ARM的开放式授权模式，保持其客户中立性，并利用NVIDIA技术扩展ARM的IP授权组合。无论如何整合，作为世界最大的处理器IP供应商ARM收购案将重塑全球芯片产业格局。

中国智慧物联市场前景广阔，ARM授权仍是双赢选择

“十三五”期间中国物联网市场稳步增长，未来市场前景乐观。中商产业研究院发布的《2020-2025年中国物联网产业市场前景及投资机会研究报告》预计，2020年中国物联网市场规模将突破2万亿，达到22165亿元，“十三五”期间年均复合增长率达24%。另根据工信部数据显示，截至2018年6月底，全国物联网终端用户已达4.65亿户。预计智能消费设备的普及以及人工智能技术的应用在未来仍将支撑中国物联网规模的稳步增长趋势。

同时，中国人工智能产业规模快速增长。根据艾媒咨询发布的《2020上半年中国人工智能产业专题研究报告》显示，预计2020年国内人工智能核心产业规模将超过1500亿元，同比增长率达到26.2%。截至2020年6月，全国已有24个省市发布了人工智能产业发展规划，其中有18个制定了具体的产业规模发展目标，这18个省市2020年的人工智能核心产业规模目标达到近4000亿，远远超过国家制定的1500亿。

我们认为中国作为全球最大的电子和半导体市场，是目前ARM生态中的国内芯片厂商短期不会受到收购案的冲击的最有利因素。首先，英伟达为了实现继续保持ARM在处理器IP授权的主导地位，兑现ARM中立性的承诺是成功的关键。其次，无论是从商业直接收益角度，还是维持并扩展ARM产业生态，英伟达和ARM都不会错过中国广阔的智慧物联、人工智能市场。另外，由于中国在全球市场的地位，中国反垄断监管部门的审批或将ARM收购案成功与否的决定因素之一。我们认为中美贸易摩擦和收购案导致半导体产业集中度大幅提升两大重要因素或致使收购案在通过中国反垄断审查的曲折程度超过2018年高通-恩智浦收购案。倪光南院士公开预测中国商务部会否决本收购案。

ARM收购案或带来技术供应不稳定性，国产处理器或将加速自主可控处理器发展

我们认为ARM指令集架构和处理器内核架构在移动和智能物联领域的技术优势和市场垄断地位有可能为美国的管制技术。目前，美国已经在X86架构、EDA工具、晶圆代工的设备、材料等多个芯片产业关键环节扼住整个全球产业链。其中，作为垄断个人计算机和服务器的X86架构完全掌握在英特尔手中，只授权给AMD和台湾威盛两家。英特尔和AMD过去数十年在X86架构上的耕耘，已经建立起了坚固的专利墙。而ARM架构和处理器IP授权智能终端、工业、车载、家居物联网等领域芯片处理器内核的地位能够进一步提升美国对整个芯片产业的控制力。

因此，ARM收购案带来的不稳定性或刺激中国处理器自主化加速。结合过去几年美国针对中国顶尖科技企业进行“实体清单”管制的案例分析，ARM的技术管制和许可证制度是有可能被实施到各细分领域具备挑战美国科技实力的顶尖中国公司。从历史来看，即使中国广阔的智慧物联市场是美国企业继续合作的最强动力，但美国企业从来都是坚决配合执行美国政府的出口管制。过去由于X86的计算机和服务器垄断地位，国内自主CPU突破方向是以计算机和服务器处理器芯片为主。我们认为，ARM的收购案或将推动国产CPU研发向智能终端、工业互联、车规车载、家居物联网等AIoT领域芯片处理器全方面扩展。

半导体

RISC-V引产业关注，开源模式赋予国内处理器换道超车机会

RISC-V是新兴精简指令集，开源模式吸引关注

2011年，新兴的开源架构RISC-V出现引起全球处理器产学研关注。RISC-V是一种简单、开放、免费的全新精简指令集架构，其最大的特点是“开放”。它的开放性允许它可以自由地被用于任何目的、允许任何人设计、制造和销售基于RISC-V的芯片或软件，这种开放性在处理器领域是彻底的第一次。RISC-V起源于2010年加州大学伯克利分校的David Patterson教授与Krstje Asanovic教授研究团队准备启动一个新项目。项目需要选择一种处理器指令集。由于当时已有的指令集ARM、MIPS、SPARC、X86存在设计越来越复杂和知识产权问题，因此他们开始重新设计一套指令集。伯克利大学团队在指令集发布同时决定将RISC-V指令集彻底开放，使用BSD License开源协议设计了开源处理器核Rocket Core。

伯克利研究团队认为，指令集作为软硬件接口的一种说明和描述规范，不应该像ARM、PowerPC、X86等指令集那样需要付费授权才能使用，而应该开放和免费。他们选择的BSD开源协议给予使用者很大自由，允许使用者修改和重新发布开源代码，也允许基于开源代码开发商业软件发布和销售。因此BSD开源协议对商业集成很友好，很多的企业在选用开源产品时都会首选BSD开源协议。

RISC-V基金会于2015年由硅谷相关公司发起并成立，RISC-V商业化进入快车道。基金会作为非盈利性组织，负责RISC-V指令集架构及其软硬件生态的标准化、保护和推广。RISC-V成立时基金会董事会来自Bluespec、谷歌、Microsemi、英伟达、恩智浦半导体、加州大学伯克利分校和西部数据的七名代表组成。据RISC-V基金会统计，目前已有来自25个国家的210多个机构、学术和个人加入。中国企业和研究机构积极参与基金会，阿里巴巴、华为、中兴通讯和赛昉科技目前是基金会顶级成员。

RISC-V架构迎AIoT新机遇

由于长期的发展，X86和ARM形成了强大生态体系，RISC-V在短期内难以在计算机领域和移动互联领域替代X86和ARM。但在新兴的AIoT时代，RISC-V将迎来机遇。包括ARM在内的CPU架构经过几十年的发展演变，已变得极为复杂和冗繁。即使是作为精简指令集的ARM架构文档也长达数千页。指令数目已经日趋复杂，并且版本众多，彼此之间既不兼容，也不支持模块化。另外现有主流指令集还存在着高昂的专利和架构授权问题。作为设计之初就定位为完全开源架构的RISC-V，后发优势规避了计算机体系几十年发展的弯路。架构文档只有二百多页，基本指令数目仅40多条。模块化使得用户可根据需求自由定制，配置不同的指令子集。

精简和灵活使新兴的RISC-V架构在智能物联网市场有机会实现突破。智能物联网（AIoT）时代带来的低延时大容量万亿设备互联，场景丰富、万物互联、智能化将催生新的芯片市场需求。但是丰富的应用场景也导致AIoT市场呈现碎片化和多样化，对CPU的需求也极为多样。现有的处理器设计并不能有效应对。RISC-V架构的极致精简和灵活的架构以及模块化的特性，可以针对不同应用灵活修改指令集和芯片架构设计。相比之下使用ARM往往只能做一个标准化设计，很难实现差异化。此外，很多智能设备对于成本较敏感，RISC-V架构免费授权的特点对于芯片厂商也非常重要。

市场调研机构Semico Research研究结果显示，预计到2025年，采用RISC-V架构的芯片数量将增至624亿颗。在包括计算机，消费者，通讯，运输和工业市场在内的细分市场，2018年至2025年复合增长率高达146%。Semico Research与RISC-V基金会共同确定了34个细分市场，并研究了每

个市场的CPU IP内核的总可用市场和RISC-V IP内核的服务可用市场，最终对2025年数据进行了预测。研究认为四个具有使用RISC-V内核的高价值机会是高性能多核SoC、高性价比多核SoC、基础SoC和FPGA。

CPU自主可控道阻且长，发挥新型举国体制优势布局RISC-V

我们认为开放和合作使RISC-V有潜力成为中国处理器自主可控的指令集架构选择。RISC-V架构开源模式使该指令集架构避免如X86和ARM被极少数公司控制，从而在架构源头实现自主可控。广阔的使用前景和未来潜在市场规模，吸引了全球著名企业、研究机构 and 高等学府积极合作，多方投入合作有望促进RISC-V产业链成熟和生态的完善。生态繁荣的前景有利于国内参与企业持续盈利，提高继续投入积极性，进入良性发展循环。乐观的市场预期、成熟的产业链和完善的开发生态，是RISC-V成为主流指令集架构，甚至于成为X86和ARM外指令集架构第三极的必备条件。

全面布局指令集架构优化、处理器内核开发和终端芯片设计，是真正实现处理器自主可控的客观要求。RISC-V强调完全开源的设计，并且让取用者可任意加上专属指令集，甚至可以自由选择将架构封闭还是维持开源。因此，虽然指令集架构是开源免费，但是基于指令集衍生的专利、内核微架构并不是开源和免费。目前，RISC-V指令集和微架构均已发展出开放免费、可授权和封闭的三种知识产权模式。

目前，类似于ARM商业模式的RISC-V内核IP授权公司已经兴起。美国SiFive由RISC-V创始人Krste Asanovic创立，是世界最大的RISC-V商业处理器IP授权公司。目前SiFive已完成E轮融资，股东除了专业VC以外还有高通、西部数据、SK海力士等半导体行业巨头。SiFive产品已涵盖MCU、边缘计算、人工智能、物联网、存储器、AR/VR、机器学习等领域。台湾的晶心科技是另一家著名RISC-V内核IP提供商。2020年10月，瑞萨半导体（Renesas）宣布开始采用晶心旗下AndesCore IP 32位RISC-V CPU内核开发新的特定应用标准产品。

以中美贸易摩擦为鉴，安卓式的开源陷阱需要被避免：谷歌利用安卓开源免费的框架，吸引智能手机厂商使用安卓。再把GMS（Google Mobile Service）闭源做成授权模式，成为自己盈利模式。在美国对华为进行“实体清单”制裁时，谷歌毫不犹豫停止GMS授权，使华为智能手机因无法下载、更新、使用Gmail、Youtube、Google Map等广泛普及的应用，在海外市场陷入被动。

从处理器发展史来看，一款指令架构的成功，不仅仅在于芯片设计成功，更需要完善的软硬件生态系统。英特尔推动的x86架构市场庞大，从传统PC到数据中心规模的服务器都在使用基于x86架构的处理器，同时相关软件带动的应用服务也有长达40年的优化发展历史。ARM的IP授权模式已经趋于完善，ARM架构已催生庞大的移动和智能设备市场应用规模，加上有EDA公司、晶圆代工厂、软件公司在ARM生态上的鼎力支持，尽管授权费用高昂，各大芯片厂商依旧愿意进行合作。目前，RISC-V生态刚开始起步，操作系统、编译器、开发工具、EDA工具等配套逐渐起步完善。推动生态系统的深度发展，有利于吸引更多企业使用RISC-V架构，将RISC-V打造成主流架构。

AIoT市场碎片化以及RISC-V架构本身开源灵活的特点，更需要国内外通过开放合作推进RISC-V架构向标准化方向发展。维护RISC-V开放合作，更有利于RISC-V良性发展，积极参与全球合作，中国企业可以提高自身技术能力，提高中国在处理器领域话语权；积极推进国内生态企业

合作，有效整合资源，形成完善的产业链，将自主可控处理器和庞大丰富智能物联网应用有效对接，形成双击。

AIoT爆发在即，国内多方面推进RISC-V发展

政策陆续出台，推动产业发展

上海在国内第一个出台与RISC-V相关的扶持政策。2018年7月，上海市经信委发布《上海市经济信息化委关于开展2018年度第二批上海市软件和集成电路产业发展专项资金（集成电路和电子信息制造领域）项目申报工作的通知》，将从事RISC-V相关设计和开发的公司作为扶持对象。2018年10月，乐鑫ESP32-Marlin物联网芯片项目入选拟支持项目。2020年2月，广东省人民政府办公厅印发的《加快半导体及集成电路产业发展若干意见的通知》中，明确将RISC-V（基于精简指令集原则的开源指令集架构）芯片设计列入芯片设计重点发展方向。

产学研齐登场，积极投身国内外合作

除了参与RISC-V基金会以外，中国的企业和科研所在国内外还以各类技术共享平台、论坛、产业联盟等形式的参与合作。2018年10月17日，由国内外RISC-V领域重点企业、研究机构、和行业协会发起成立中国RISC-V产业联盟。联盟秉承开放、合作、平等、互利的原则，致力于解决中国RISC-V领域共同面对的关键问题，建立中国国产自主、可控、安全的RISC-V异构计算平台，促进形成贯穿IP核、芯片、软件、系统、应用等环节的RISC-V产业生态链。

2018年11月8日，中国开放指令生态（RISC-V）联盟在乌镇举行的第五届世界互联网大会上宣布成立，联盟理事长由倪光南院士担任。CRVA联盟旨在召集从事RISC-V指令集、架构、芯片、软件和整机应用等产业链各环节企事业单位及相关社会团体，自愿组成一个全国性、综合性、联合性和非营利性的社团组织。此联盟将围绕RISC-V指令集，整合各方资源，通过产、学、研、用深度融合，力图推进RISC-V生态在国内的快速发展。同日，同样在世界物联网大会上，RISC-V基金会在宣布成立中国顾问委员会将就RISC-V基金会的教育和应用推广战略提供指导。2019年，新的非营利性全球组织OpenHW Group成立，旨在通过提供合作平台，创建生态系统发展的焦点，以及促进开源处理器的采用，以及为处理器内核提供开源基于RISC-V架构的Core-V IP。包括阿里巴巴、华为、恩智浦、英伟达、Silicon Labs和苏黎世联邦理工大学、美国犹他大学在内的国内外顶尖企业和院校成为OpenHW Group的加盟成员。

科研机构发力，展开多领域研究

依托国内大学和研究机构，基于RISC-V架构研究在多领域内展开。在2015年之前，大多数微结构和芯片相关的研究受限于指令集的授权问题而难以开展。随着RISC-V开源开放理念的流行，越来越多的科研项目受益于RISC-V而得以开展。

根据中国开放指令生态（RISC-V）联盟不完全统计，截至2019年2月，围绕RISC-V开展科学研究或领域生态调研的科研机构包括但不限于：北京大学、南京大学、南开大学、宁波中国科学院信息技术应用研究院、鹏城实验室、清华大学、上海交通大学、上海科技大学、天津大学、浙江大学、中国电子信息产业发展研究院、中国科学技术大学、中国科学院计算技术研究所、中国科学院上海微系统所、中国科学院微电子所和中国科学院信息工程研究所等。预计未来国内基于RISC-V的研究将越来越繁荣。

企业积极投身产业化，自主产品不乏亮点

根据中国开放指令生态（RISC-V）联盟统计，截至2018年年底，可查询到的与RISC-V芯片、硬件、软件、投资、知识产权及生态相关的中国公司（含外资公司中国分公司）数量已接近一百家。

近年来，国产RISC-V商业化产品不断落地，其中不乏亮点。阿里巴巴旗下平头哥半导体推出的玄铁910 AI向量加速引擎的64位16核处理器在性能方面优于ARM Cortex-A73；玄铁902/903已被应用于IoT和工业控制的MCU。2018年9月，华米科技（HMI.US）正式发布了“黄山1号”，成为全球可穿戴领域的第一颗AI芯片。作为后续产品，黄山2号RISC-V智能可穿戴芯片，将于2020Q4量产。华米宣称黄山2号相比于在可穿戴设备中常见的ARM Cortex-M4架构处理器，整体运算效率提升了38%。

国内出现本土基于RISC-V处理器IP核供应商与本土设计企业联手先例。2019年8月22日，兆易创新发布了全球首款基于RISC-V内核的GD32VF103系列MCU。该款MCU采用Bumblebee处理器内核是兆易创新携手RISC-V处理器内核IP和解决方案厂商芯来科技（未上市）面向物联网联合开发的一款商用RISC-V处理器内核。本次合作实现了本土处理器IP供应商和本土芯片设计公司意义非凡的联手。

*免责声明：本文由作者原创。文章内容系作者个人观点，半导体行业观察转载仅为了传达一种不同的观点，不代表半导体行业观察对该观点赞同或支持，如果有任何异议，欢迎联系半导体行业观察。

今天是《半导体行业观察》为您分享的第2636内容，欢迎关注。

推荐阅读

★[英特尔无法成为台积电](#)

★[嵌入式技术发展的一些思考](#)

★[博通：我不再重要了？](#)

半导体行业观察

『[半导体第一垂直媒体](#)』

实时专业原创深度

识别二维码，回复下方关键词，阅读更多

晶圆 | 集成电路 | 设备 | 模拟芯片 | 射频 | 传感器 | 美国 | 光刻

回复 **投稿**，看《如何成为“半导体行业观察”的一员》

回复 **搜索**，还能轻松找到其他你感兴趣的文章！