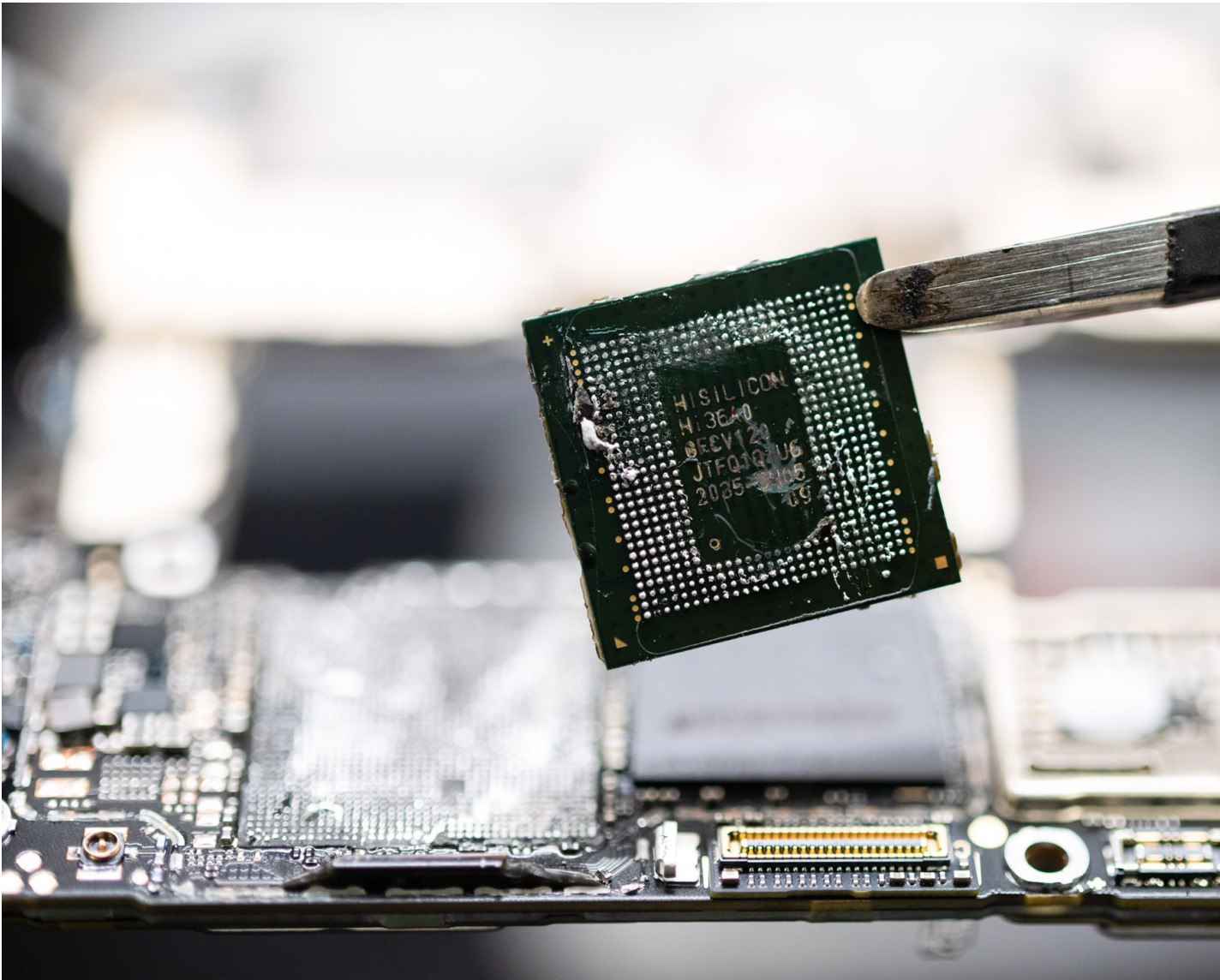


大国软肋还是弯道超车：全球半导体产业链上的中国，还有机会赶超美国么？

从13张半导体图表切入，呈现全球最关键科技背后的产业链、中美竞争和中国科创体制。



华为Mate 60 Pro手机内的Kirin 9000s芯片，由中国制造，以突破美国的芯片管制。摄：James Park/Bloomberg via Getty Images

特约撰稿人 艾迪

刊登于 2024-02-06

[#中国半导体](#) [#芯片](#) [#科技战](#) [#半导体](#) [#中美关系](#) [#中美科技竞争](#)

📄

分享全文

➞

🔖

💬0

2023年过去，全球高端手机销售量[排行](#)出炉，苹果以71%份额稳占首位，三星则以17%排第二，而华为凭借8月底推出的旗舰级手机 Mate 60 系列，于短时间内抢占市场，重回全球第三。

尽管只占5%的份额，但这年华为强势回归高端手机市意味深长，更在国内外引来极大回响。热议声不单关注手机的性能和销情，还指向一个更宏大的问题：[中美芯片竞争](#)。

自2019年起，美国多次以“国家安全”为由封杀华为，把华为及其晶片设计公司海思等多家相关科技企业列入出口管制黑名单，致技术封锁和芯片断供，华为市占率大跌。不过，随著2023年8月横空出售 Mate60 Pro，华为宣布强势回归 5G 手机的赛道——测评机构显示，这款手机搭载的是经海思设计、由中国最大晶片制造商中芯国际生产的7纳米芯片，被视为华为突破美国的科技封锁。由此，华为年销售额增长9%，跃升至987亿美元，创下多年来的最快增速。

对此，美国商务部长雷蒙多在去年10月指出，有关华为在芯片突破的报道“极其令人不安”（incredibly disturbing），表示她主管的部门需要更多的手段来实施出口管制。在12月，雷蒙多再强调，美方将采取“最强力”（strongest possible）的行动来维护国家安全，称事态发展“令人深感担忧”。

小小手机里的小小芯片，正成为中美战略竞争不断上演的戏码。自中美贸易战始，大国竞争延至科技领域，后来更锁定在芯片——这种无处不在，一般人却未必熟知的科技。那么，究竟什么是芯片？芯片何以如此重要，成为中美角力的关键所在？芯片的全球供应链如何分布，中国在其中的位置又是如何？近年中美脱钩浪潮和地缘政治动荡下，又怎样影响中国的半导体发展？

端传媒整理13张图表，由此呈现全球最关键科技背后的产业链、中美竞争和中国芯片体制。



2023年9月25日，中国北京，一名顾客在华为旗舰店看新推出的 Mate 60 智能手机。摄：Kevin Frayer/Getty Images

### 1. 作为全球最关键科技的半导体

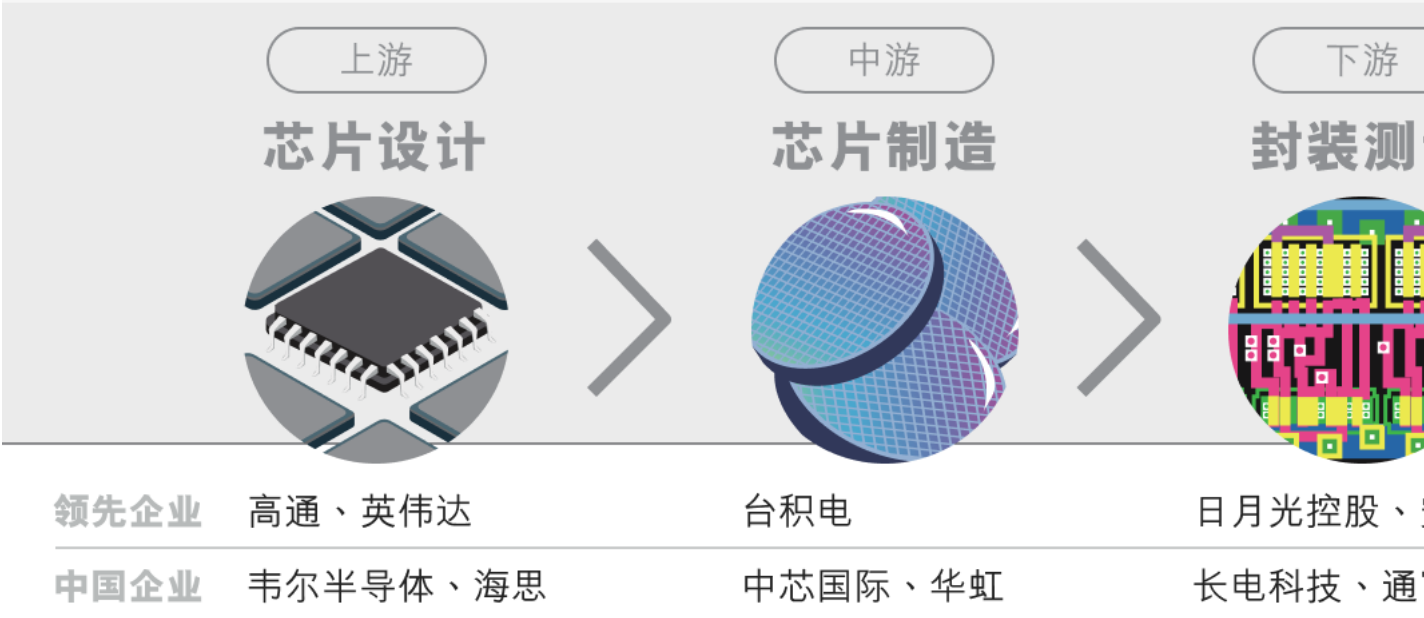
芯片（chips），更正式的说法是半导体（semiconductor）或集成电路（integrated circuit），是当今世界最重要、最精细和最全球化的科技产品之一。无论是手机、冰箱和汽车，还是先进的人工智能、机器学习和导弹系统，半导体集成电路皆是提供运算力的必备元件。

半导体指介乎导体和绝缘体之间的材料，可以切换是否导电，它们可制作成集成电路（台湾称为积体电路），透过电流的通行或阻断来执行运算。集成电路的技术门槛和研发投入巨大，生产异常复杂精细，涉及数百道工序——指甲盖大小的芯片，便能集成150亿个晶体管，个中的工艺集人类工业文明之大成，涉及机械、电子、冶金、化工、材料等产业。



# 半导体行业的上中下游

行业特点：全球互相依存，产业复杂精细；资本人才密集，产品快速更迭



按类别来看，芯片可分为三类：逻辑芯片指驱动智能电话、电脑、伺服器的处理器，如 CPU（中央处理器）和 GPU（显卡）；存储芯片指电子仪器运行所需的短期记忆体 DRAM，和长时间记忆体 NAND。第三类芯片比较广泛，通称为 DAO 芯片，包括类比芯片（如把视讯或音讯转为数位资料的感测器）、无限射频芯片，以及管理设备用电的芯片。按销售产值来看，逻辑芯片占2022年占44%，存储芯片占23%，而 DAO 芯片则占33%（[Hoover](#)，P52）。

一般而言，逻辑和存储芯片在较小的纳米尺寸下性能提升，能耗降低，拥有更强的运算能力。在先进的逻辑芯片中，目前最先进的技术是3纳米技术；至于存储芯片，先进标准是 DRAM 内存芯片半间距为18纳米或以下，NAND 闪存芯片则为128层或以上。

尽管新兴技术和高端消费应用（例如超级电脑、智能手机和人工智能）需要先进芯片，但电子产业仍大规模使用成熟芯片，即28纳米或40纳米及以上的芯片。例如车用芯片，基本上是28纳米、45纳米和65纳米成熟制程的天下，只有少数应用自动驾驶汽车芯片才需要用先进制程。在新冠疫情引发的全球芯片危机中，芯片短缺的主角便是成熟制程芯片。

作为复杂的科技产品，芯片的诞生涉及设计、制造和封装测试。以建楼类比，芯片设计环节是楼房的图纸设计，晶圆制造则是施工建房，而封装测试就是将毛坯房改成精装房。芯片设计需要 IP 架构、设计软件（EDA 软件），制造环节则需要特殊材料、化学品和光刻机等仪器，而封测环节作为后道工艺，同样需要专门仪器。

按生产模式来看，芯片公司分为 IDM 模式和代工模式。IDM（Integrated Device Manufacturer，垂直整合制造商）指一间公司包办设计、制造和封测，如英特尔和三星电子。而代工模式则将设计、制造和封测分拆给不同的公司负责，当中设计的公司称为 Fabless（无工厂芯片供应商），代工厂称为 foundry——这种模式自1980年代末期兴起，由台积电率先开创。

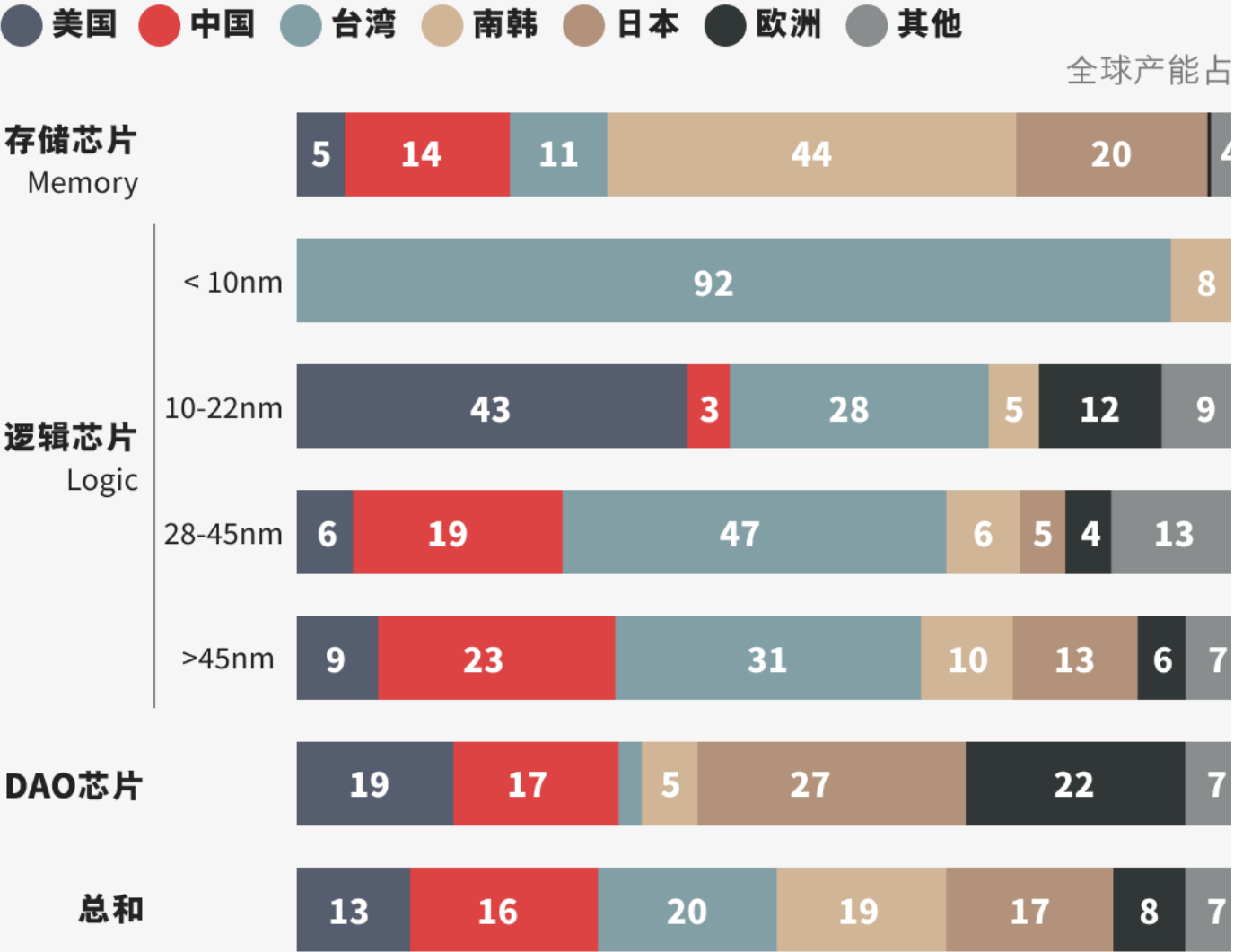
目前，集成电路产业链的各个环节掌握在少数国家的少数企业，并呈全球分工、互相依存的布局。根据《晶片战争》的研究，一个典型的芯片可能由加州与以色列合作的工程团队负责，他们使用美国的设计软件，根据总部位于英国的安谋（ARM）公司提供的 IP 架构设计；之后，台湾的代工厂使用日本的晶圆和特殊气体，运用一家荷兰公司、一家日本公司、三家加州公司的设备，从而将设计刻在晶圆。最后，芯片在东南亚进行封装和测试，再送到中国装进手机或电脑。

值得强调的是，芯片的地缘政治意味日益显著，如英特尔执行长季辛格（Patrick Paul Gelsinger）指出，“未来五十年芯片将取代石油，主导重塑全球地缘政治。过去五十年石油蕴藏地点定义了地缘政治，未来五十年科技供应链所在及半导体生产地更为重要。”

另外，芯片也是高度商业化的产业，因此重点不单是“做不做得得到”，还有“做不做得好”和“商业上可不可行”：量产、高良率、符合成本效益、快速满足客户才是关键。

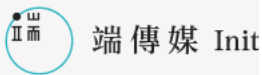
# 芯片的产地来源：中国生产占比16%

## 2019年芯片产能地区分布



注：DAO芯片包括类比芯片（如把视讯或音讯转为数位资料的感测器）、无限射频芯片，以及用电的芯片

资料来源：波士顿咨询公司、美国半导体行业协会



## 2. 国之重器：半导体为何对中国重要？

半导体对中国非常重要，因为中国是半导体的刚需大国，是全球电子产品最大的制造工厂（占全球36%）和第二大电子产品的消费市场（SIA，P1）。

根据世界半导体协会的统计，2023年全球半导体市场份额达5741亿美元，而中国是最大的单一市场，占比超三成。在2023年，据海关总署资料显示，中国进口集成电路的数值达3494亿美元，比原油的3375亿美元还多。

中国领导人高度重视国产半导体行业，不满于于国内的半导体行业落后于世界领先水平，个中涉及两个重要概念，价值链升级和国家安全。自2010年代开始，中国经济放缓，进入新常态，旧有劳工密集型和粗放型经济模式大而不强、遇到瓶颈，因此习近平提出“创新驱动”模式，著重提升中国的价值链位置，半导体行业正是其中一环。

对习近平来说，经济规模不足以支撑其强国梦，创新科技才是核心支柱：“一个国家长期落后归根到底是由于技术落后，而不取决于经济规模大小。历史上，我国曾长期位居世界经济大国之列，经济总量一度占到世界的三分之一左右，但由于技术落后和工业化水平低，近代以来屡屡被经济总量远不如我们的国家打败。为什么会这样？我们不是输在经济规模上，而是输在科技落后上。”

自2018年的中兴事件后，半导体发展变得更为迫切。中兴通讯被指向伊朗销售含有美国芯片技术的电信设备，后来虽和美国政府达成和解，但美方发现其未遵守和解协议的条款，并提供虚假陈述。在2018年4月，美国政府采取严厉措施，对中兴通讯实施制裁和出口管制，禁止购买美国设计的半导体。由于无法找到替代技术，作为中国第二大电信设备公司的中兴通讯之生产和销售陷入停滞，由大幅盈利变成即将破产，足见美方芯片锁喉奏效。

中兴事件对中共高层震动颇大，使其加强半导体国产化的决心。对习近平来说，核心技术的自主创新和供应链的自主可控已提升到国家安全的层次：“关键核心技术是要不来、买不来、讨不来的。只有把关键核心技术掌握在自己手中，才能从根本上保障国家经济安全、国防安全和其他安全。”

更进一步，半导体关乎中国和外部世界的关系。中国不单追求自主可控，甚至也要建立产业优势，目标令世界依存中国，必要时成为反制外国的手段。在2020年4月的中央财经委员会，习近平就表示，中国要巩固提升优势产业的国际领先地位，锻造一些“杀手锏”技术，“拉紧国际产业链对我国的依存关系，形成对外方人为断供的强有力反制和威慑能力。”

## 3. 半导体的全球布局与中国软肋

然而，尽管中国再三强调发展半导体，但离“自主创新”和“自主可控”仍有很大距离，更不是具国际领先地位的优势产业。在很多关键节点，中国都受制于人，被官方称为“卡脖子”，同时也没有多少具全球竞争力的龙头企业。

在芯片设计层面，美国企业掌握制高点，拥全球20大半导体设计公司中的一半，占先进逻辑芯片设计市场份额的90%以上，主要巨头包括高通（Qualcomm）、英伟达（Nvidia）和博通（Broadcom）等（Hoover，P66）。当中，自称为“AI 的世界引擎”的英伟达是近年行业宠儿，其显卡市占率超过九成，因为主要的生成式 AI 模型都需在英伟达的图形处理器（GPU）上进行训练。

精密的芯片设计需要 IP 核心授权和 EDA 软件（电子设计自动化），前者有两大巨头，一个是软银控股、总部在英国的安谋控股公司 ARM，另一个是x86架构的英特尔公司；后者则被三家总部位于美国的公司垄断，他们是益华（Cadence）、新思科技（Synopsys）和明导国际（Mentor），囊括全球75%的市场，不使用这些公司的至少一种软件，就很难设计成芯片。

在芯片制造领域，英特尔和三星电子是 IDM 模式的王者，前者专精个人电脑芯片和伺服器芯片（多用于资料中心），后者则主力做存储芯片。而全球先进芯片（10纳米以下）代工则由台湾的台积电公司独大，于2019年占比达92%，几乎囊括所有先进制程产品。台积电由张忠谋于1986年成立，其成功之处在于和产业链的上下游深度融合，满足客户所需。目前，只有台积电、三星和英特尔拥有商业化生产10纳米以下的芯片厂，而台积电的制造能力比三星电子领先



先，预期将在2025年下半年推出、2026年量产2纳米芯片。在当下人工智能的竞赛上，台积电是AI应用的关键推动者，因为英伟达（Nvidia）和 AMD 这两大 AI 芯片最强势力均采用台积电生产工艺，因此台积电最近可以说：“到目前为止，你所看到的 AI 产品都来自台积电。”

回到中国本土企业，作为全球芯片代工行业的第二梯队，中芯国际是国产芯片制造的龙头，由台湾人张京汝在2000年创立。该公司凭著政府支持和海外人才急速成长，在2019年实现14纳米量产，并在2022年国际成熟制程产能全球排名第四，大线宽全球排行第五，是中国大陆产能规模最大、工艺水平领先的行业领导者。尽管如此，中芯国际在2022年的营收只是台积电的十分之一。

整体来说，就算中国半导体的产能已急速追赶和大幅扩张，但自给率仍然不高。在2015年，中国曾发布《中国制造2025》，当中列出进取的半导体自给率：在2020年达50%，到2025年达70%。虽然官方没有清晰的定义，但根据 IC Insights 的数据，2020年中国公司生产的集成电路占中国集成电路市场只有5.9%，到2025年预测只有7.5%，按此定义的自给率偏低。

TechInsights 的数据同样指向中国芯片自给率不足的问题。据此统计，2022年中国集成电路市场需求是1644亿美元，而在中国本土制造的芯片业产值（外资制造业产值与中资制造业产值之和）有300亿美元，按此定义自给率为18.2%。若只计算中国本土企业制造的芯片则更低一个级别，只有152亿美元，只有约9.2%的自给率。

在芯片产业链，专门的仪器、物料和化学品是不可或缺的环节，而中国都依赖外国企业。美国企业在五个主要的半导体生产设备中，总计占全球市场份额的50%以上，当中包括应用材料（Applied Materials）、科林研发（Lam Research）、科磊（KLA）是主要生产商。另外，光刻机基本被总部在荷兰的艾司摩尔 ASML 垄断，当中高端的 EUV 光刻机被认为极难模仿，因为艾司摩尔花了近30年时间才成功开发并商业化，该公司本身也是系统集成商，需要将数百家公司的技术整合，而机器有8万个零件，任何一个缺憾都足以造成问题。

至于芯片制造所需的物料和化学品，日本公司在全球光刻胶市场占有约90%的份额，并在另外70种用于半导体制造的先进材料市场上也拥有60%以上的市场份额，而信越化学（Shin-Etsu Chemical）和 SUMCO 也共同控制著全球约60%的晶圆片市场。

简单来说，从设计到制造，无论是仪器、物料还是化学品，中国都落后于国际前沿水平，并广泛依赖外国企业。在全球化年代，事实上没有国家在半导体领域可以完全自足，但美国及其盟友的公司掌握行业的大部分关键节点。而这些企业呈赢家通吃的现象，因为头部企业有技术堡垒、长周期投入和供应链依赖优势，新入局者并不容易追上和逾越。



## 4. 集中力量办大事

在落后的局面下，作为半导体产业的后来者，中国领导人认为“集中力量办大事”是体制优势，并以此攻关半导体行业。早在胡温年代，中国政府已在政策层面推动半导体行业，到习近平年代则更加码投入。

2014年国务院颁布《国家集成电路产业发展推进纲要》，是习时代一份标志性文件，此后中国陆续颁布多项产业政策，通过财政补贴、股权投资、税务减免、低息贷款等政策工具支持半导体发展。据美国商业部在2023年12月发布的报告，中国过去10年豪砸1500亿美元补贴芯片生产（[BIS](#)，P5）。

这种财政补贴为中国半导体企业创造巨大优势。根据经济合作暨发展组织的[统计](#)，中国半导体企业的政府补贴比例显著高于国际同行。中芯国际、清华紫光和华鸿半导体在2014-2018年的补贴占营收比重达40%、30%和22%，同期台积电、英特尔和三星取得津贴的比例低于5%。

当中，简称为“大基金”的国家集成电路产业投资资金是中国最瞩目的半导体支持政策，这种创投模式是一种较新颖的产业支持政策，亦更有市场化的色彩。大基金至今有两期，出资方皆有财政部、国开金融和中国烟草等国企，第一期在2014年成立，注册资本是987.2亿元人民币，募集资本达1387.2亿人民币，第二期在2019年成立，注册资本加码至2041.5亿元人民币，两者都透过投资初创企业、持股龙头企业等方式支持本土半导体企业。[据报](#)，中国将推出3000亿元人民币大基金三期，但传出融资遭遇困难，主要受到经济环境艰难造成。

在税务优惠方面，近年最重要的政策为2020年颁布的《关于促进积体电路产业及软体高品质发展企业所得税政策的公告》，当中针对28奈米、65奈米及0.13微米以下的半导体业，给予最高免10年所得税优惠，范围包括晶圆制造、IC设计、封测及材料等。

除了上述途径，挖掘人才、以市场换技术、与外国公司建立合资企业、合并海外公司也是常见的手段攻关半导体产业。在罗致人才方面，根据2019年的[一篇报导](#)，超过3000名工程师（相当于当时台湾半导体研发人员的近10%）被中国吸引而移居中国，因为他们在中国的薪水是在台湾的2倍到3倍。这些工程师包括前台积电（TSMC）首席执行官姜尚义、前台积电和三星资深高管梁孟松、英特尔美光（Inotera Memories）董事长高启全和前联华电子（UMC）副董事长孙世伟等知名人士。

另外，中国庞大的市场影响力亦是筹码，促使外国半导体企业在华的技术转移。根据《晶片战争》作者米勒（Chris Miller）在书中的看法，晶片公司根本无法忽视全球最大的半导体市场中国，他们会小心翼翼保护自己的关键技术，但同时乐意以合意的价格出售他们子领域的非核心技术。当这些公司失去市占率或需要融资时，便给了中国很多筹码介入，IBM、AMD 和 ARM 就在不同的时期在中国达成交易。

## 5. 半导体的顶层设计和央地关系

在“集中力量办大事”的思路下，中国的半导体体制发展出相应的顶层设计和人事安排，而央地关系和地方竞争亦影响中国半导体的发展。这种结构形成有中国特色的半导体体制。

在习时代，我们正见证“科技官僚”干部群在权力顶层的形成，这些干部毕业于广义的科学技术学科，并有人工智能、科技企业、航天军工等经验。据马可波罗的[分析](#)，现时205位中央委员中，有超过三分之一（69人）是科技专家，比第19届中央委员会增加了35 %。在政治局层级，24名成员中便有8名科技专家，比第19届政治局增加了一倍。在党国看来，提拔这些科技官僚或许可以攻关包括半导体在内的“卡脖子”问题。

在众多科技官僚中，政治局排名第六的常委、国务院副总理丁薛祥是最高级别的官员。现年61岁的丁薛祥在其职业生涯早期活跃于科研一线，他毕业于东北重型机械学院（现燕山大学）机械制造系锻压工艺及设备专业，其后在机械工业部上海材料研究所工作17年，一开始是研究员，最后成为该研究所的所长。据[分析](#)，丁薛祥很有可能领军今年两会后新组建的“中央科技委员会”，这个委员会直属中共中央，接管国家科技发展的战略规划和政策制定工作，旨在加强党的统一领导，协调政府部门、党内机构和军方部门，从而集中力量解决包括半导体在内的关节核心技术难题。

有[论者](#)指出，新的中央科技委员类似过去的举国体制，将承担像“两弹一星”（核弹、导弹和人造卫星）这样的重大科技项目攻关项目。翻查历史，中共曾在中苏交恶后的1962年成立“中央专门委员会”领导国防尖端科技，由总理周恩来任主任，其余14人由7名副总理和7名政府部长组成，广泛动员党政军民、各行各业，先后有26个部委、20个省区的900多家科研机构大专院校和工厂参加，规格非常高，最后造出两弹一星。

而“两弹一星”例子曾被习近平多次引用，用作鼓励中国的自主创新。“过去在外部封锁下，我们自力更生，勒紧裤腰带、咬紧牙关创造‘两弹一星’，这是因为我们发挥了社会主义制度优势——集中力量办大事。下一步，科技攻关也要这样做，要摒弃幻想、靠自己。”

2023年9月25日，中国北京，顾客在观看新华为Mate 60的产品发布会。摄：Kevin Frayer/Getty Images

然而，举国体制的历史经验多大幅度适用于芯片行业成疑。如《科技日报》（中国科技部官方报纸）原总编辑刘亚东所言，用原子弹的办法解决芯片问题不可行，芯片制造难过原子弹，因为芯片并非像原子弹那样是静态的、等待被攻破的技术堡垒，而是具有强烈商业性质的产品，处于日新月异、动态发展的商业环境；就算芯片做出来，但价钱不适合就是“垃圾”。究竟举国体制如何和市场力量结合，驾驭复杂多变的芯片市场环境，仍是中国发展半导体一个深刻的难题。

值得指出的是，中央集中力量发展半导体是落实到地方层面的。在上述中央委员的“科技官僚”中，有逾半担任省级领导（36人），即多位地方大员具科技经验，显示北京不单重视地方 GDP 的增长，还锐意在地方推动科技发展的政绩。事实上，多个省市也有自己的半导体激励政策，形成芯片领域的“地方竞赛”，竞逐北京的政治指标。

观乎中国的半导体产业地图，长三角和珠三角这两个经济最为发达的地区是重镇。江苏、广东、甘肃、上海和浙江是中国半导体产值最高的五个省市，他们也是多间中国半导体百强企业的所在地。上文提及中央有大半导体大基金，多个省市亦设立地方半导体产业基金，如北京集成电路产业发展股权投资基金（320亿人民币）、上海市集成电路产业基金（500亿人民币）、广东省半导体及集成电路产业投资基金（150亿人民币）等。

## 6. 局部的成功：中国半导体的成败

在多种政策工具的刺激下，中国半导体发展的成果参半：产值大幅上升，在特定领域有突破，但整体在国际上仍未有很大市占率。另一方面，中国芯片行业在巨额投入下亦有大量烂尾和贪腐个案。

根据[艾瑞咨询](#)整理的资料，无论是设计、制造还是封测行业，中国的产能都持续上升，当中设计业和制造业的销售规模更在2014-2021年间，基本每年都取得20%或以上的增长。

在芯片设计领域，据美国商业部统计，中国提供半导体（semiconductor providers）的公司市占率有6%，当中国产无厂房芯片设计公司（Fabless）全球市占率12%，垂直整合制造厂（IDM）公司全球市占率2%（[BIS](#)，P17）。尽管市占率不算太大，而中国公司亦需要依赖外国技术设计芯片，但中国公司在芯片设计上不乏亮点。华为海思、韦尔半导体、紫光展锐、寒武纪、壁仞科技都是重要的国产芯片设计企业。

然而，如分析[指出](#)，就算中国有芯片设计的能力，但行业面对美国制裁带来的生产问题，以致芯片虽能设计，但无法生产。当台积电和三星无法替中国企业生产高端芯片，意味著中国公司可能减少高端芯片设计的投入，损害高端芯片设计的能力。

以华为的海思半导体为例，虽然公司在过去十年取得长足进步，成为全球领先的芯片设计公司，一度跻身全球十大，但在美国禁令颁布后受创。而国产 GPU 初创公司壁仞科技，也在2022年因美国禁令而遭到台积电暂停供货，受到影响。

在存储芯片方面，中国芯片企业相对取得进步。在2021年，长鑫存储在 DRAM 芯片行业位列全球第五，市占率有1.4%；而长江存储虽然成立于2016年，但在几年间已在 NAND 芯片行业位列位列全球第6，市占率有4.4%，就连苹果公司也一度考虑将其纳入存储芯片的供应链，后来因地缘政治压力和美国政府的批评，导致苹果改变做法。在2021年，作为 NOR 闪存记忆体（多用于汽车仪表板、医疗设备）的无厂设计公司，兆易创新科技在全球销售中排名第三，占有23.2%的份额。

在特定的领域，中国半导体的公司有亮眼表现。虽然市场规模较小且专业化，但初创公司铭铭微电子的视频处理单元（VPU）在中国的内容传递网络、社交媒体平台和数据中心中被广泛使用。移远通信、广和通和日海智能科技在嵌入式于智能电表、销售终端、医疗设备、汽车和工业系统的蜂窝物联网（IoT）模块全球市场中占据一半份额。除此，豪威科技及华大半导体在图像感测及资安方面亦崭露头角。

至于芯片制造方面，由于美国政府的管制，中国半导体行业在先进芯片制程方面遭到很大的阻力，但中国在成熟芯片（28纳米或以上）的制程占有重要地位。在2022年，中国芯片代工（foundry）公司全球市占率9%，而中芯国际和华虹国际位列全球晶圆代工制造厂的第四和第五。

根据 Trend Force 的[统计](#)，预计中国成熟制程（应涵盖中国本土企业和外国在华企业）在2023年的产能占比达29%，仅次于台湾。到2027年，该比例更会升至33%，同期台湾成熟制程占比则会从49%，下降至42%。现时中国有44家营运中的半导体晶圆厂，另有22家正在兴建中，到2024年底，成熟制程的产能将在32家中国晶圆厂扩大。这种成熟制程的扩张，目前已引起美国政界的关注，担心中国的中低端芯片像倾销太阳能电板一样，带来产能过剩和损害本土企业的问题。

在芯片封测环节，由于行业附加值相对较低，进入门槛较低，中国在此环节已达世界水平，2021年的市占率达20%。在全球十大的封测行业中，中国有三间公司榜上有名，分别是长电科技、通富微电和华天科技。而美国对华的芯片封锁暂时未覆盖这个后道工艺的行业。

值得强调的是，光刻机是中国芯片制造最大的通点。尽管中国重点发展国产光刻机，但如业界人士[所言](#)，中国的光刻机还有明显短板，在芯片大产线上还没有一台国产光刻机投入使用；而良率也是一个问题，如果良率不达标，企业生产的越多、亏损就越多，就无法生存。至今，中国的国产光刻机达到90纳米制程，预计将突破28纳米制程。

随著海量资源的投入，中国半导体虽然取得一定的成绩，但亦呈一窝蜂的乱象，当中爆出多宗烂尾个案。2020年10月，官媒新华社旗下的《瞭望》周刊指出六个百亿级人民币半导体项目先后停摆，令国家蒙受损失。同时，发改委曾在记者会上批评部分企业“三无”：“无技术”、“无人才”、“无经验”。

2020年倒闭的武汉弘芯是著名的半导体烂尾个案，这个公司在2017年创立，号称投资1280亿元人民币，目标生产90微米到7纳米制程的芯片。武汉地方政府对此寄予厚望，投资逾153亿人民币，项目亦高薪挖角大批台积电员工，并延揽前台积电共同营运长蒋尚义，以及从艾司摩尔（ASML）购得一些旧款光刻机。最后，项目被揭是骗案，一粒芯片也没有生产，政府损失惨重，蒋尚义形容“根本是场噩梦”。

在2022年7月，中国半导体又爆出腐败问题。大基金高层地震，总经理丁文武和多名基金管理人涉严重违纪违法被查。此前，紫光集团3名前任或现任高管涉贪被查。连串的案件令外界看到，芯片行业成为腐败的温厂。但正如有评论[所言](#)，半导体资金流动如此庞大，没有腐败才令人意外。

就中国半导体行业而言，芯片的发展还面对众多结构性问题：一方面是重复建设、资源浪费、贪污腐败，另一方面是缺乏半导体相关人才，企业研发投入不足。更根本的问题是，中国过去半导体的发展很大程度仰赖外国的技术和人才，而这条路径正面对美国的强力封锁。

## 7. 美国封锁：对准中国痛点

自特朗普政府到如今的拜登政府，美国政界逐渐建立共识：中国科技创新对美国构成威胁，美国必须压制中国，维持全球科技领先地位。

个中的战略，可见于拜登政府的国家安全顾问苏利文于2022年10月的发言：“我们以前采取浮动法，即只需要保持技术上领先几代，但现在的战略已今非昔比。鉴于某些技术具基础性质，如先进逻辑和存储芯片，我们必须尽量维持最大的领先优势。”

针对中国半导体行业的痛点，美国对中国的半导体制制是多层次的和持续更新的。简单而言，美国持续划定受管制的半导体商品、技术、软件、仪器，编订不同级别的黑名单，从而实施不同程度的手段打击中国芯片的设计和生产能力，如逻辑芯片16/14纳米以下，闪存芯片128层以上，DRAM 芯片18纳米半间距以下。另外，华盛顿亦切断中国半导体产业的美国人才和资金，限制中企并购美企。

在出口管制方面，2022年8月通过的《芯片与科学法案》、2022年10月7日的颁布的“十月七日新规”，以及2023年10月公布的美国先进计算出口管制更新规则，是美国近年最重磅的出口管制举动，旨在令中国“买不到、设计不出、制造不到”先进芯片。

就不利于美国国家安全或外交政策利益的活动的实体（个人、公司或机构），美国工业及安全局编制实体清单（Entity List），限制他们进口受管制的军民两用物品。自2018年开始，中国实体逐渐成为美国实体清单的焦点，从2018年1月的14%，上升到2023年11月的27%，当中多家知名半导体企业上榜。

值得注意的是，实体清单的部份企业（如华为）亦被列入“外国直接产品规则”（FDPR）黑名单，即是管制武器库中的“终极武器”。如端传媒此前的[分析](#)指出，若企业不在“外国直接产品规则”，还可操作物项的“美国成分”来规避管制，如通过不同的组装和计算形式将美国原产的成分降至25%，但一旦落入FDPR 管辖，只要一个物项在其生产过程中用到了特定的美国技术、设备或者软件，就算完全在美国之外的地方生产或者制造，那这个物项的转移就需要申请出口管制许可。基于美国技术遍布全球半导体生态圈的每一个角落（如 ASML 光刻机虽不是美国公司，但也包括美国专利），所以受管辖的中国企业不单是切断“美国科技”，而是半导体行业里所有高阶技术、设备和产品都要断绝。

美国除了限制中国企业爬升高阶芯片的能力，2022年通过的《芯片法案》亦针对跨国半导体巨头在中国的产能扩张。《芯片法案》补贴390亿美元，促使全球芯片巨头在美国本土设厂，包括台积电、英特尔、三星、美光等企业纷纷宣布在美扩产计划。然而，这条法案有“中国护栏”条款，即据获补助建厂之企业，未来十年内都不能在中国投资任何28纳米以下制程逻辑芯片产能，或者是美国政府定义的先进存储芯片及先进封装测试技术产能，由此限制他们在华的产能扩张。

在很长的一段时间，中国的半导体产业依靠美国人才，但这种途径如今也被封锁。根据美方规定，任何美国人（U.S. persons）在未经许可下，不得为中国境内晶圆厂的先进制程生产活动提供支持。这里的“美国人”定义广泛，包括美国公民、绿卡持有者、在美国注册的公司法人、在美国境内的外国人、以及美国公司派驻海外的雇员。据[分析](#)，美籍人员是中国半导体企业的中流砥柱，他们有一类是八十年代初期中国出生，然后在美国留学接受和专业训练，并在美国半导体公司或者科研机构中积累5-10年行业经验；有一类是有美国背景的台湾人，他们跟随台湾半导体一起上升，收获行业声誉，并在事业中晚期受邀前往大陆发展。根据新的法例，这些中流砥柱将面临“放弃美籍还是放弃工作”的艰难选择。

至于投资限制，过去中国曾透过并购美企发展半导体，但这个方法同样面对越来越大的阻力。美国官方设有跨部门的“美国外资投资委员会”（CFIUS），一般而言是审查外资获得美企控制权的交易，但2018年实施“外国投资风险审查现代化法案”（FIRRMA），CFIUS 扩大了对涉及“关键技术”、“关键基础设施”或“敏感个人数据”的交易审查权力，目的是限制中国获取美国技术。换言之，任何中国对美科技和供应链领域的投资和并购将被严格审查。

另一方面，美国资金支持中国半导体发展也受到限制。根据拜登政府签订的行政命令，美国资金投入中国半导体、量子资讯科技及人工智能（AI）等敏感技术将受到严格限制。

而中国芯片制造的痛点光刻机，这类仪器正被美国以外交形式限制。在2019年，特朗普政府说服荷兰，限制 ASML 将使用极紫外技术的[最先进光刻机卖给中国](#)。在拜登政府施压外交压力几个月后，荷兰和日本的政府亦在2023年1月同意，两国将单独[限制](#)向中国销售某些深紫外光刻机和其他类型的先进晶片制造设备。正因如此。在2023年第三季度，中国进口芯片制造设备按年增93%，总价值达87.5亿美元，相信是许多中国制造商早已下订单（交货周期在六个月到一年之间），预先准备即将来临的禁令。

整体来说，尽管去年末拜登与习近平再度会面，两国关系稍微降温，但中美芯片战并没有缓和的迹象。美国政府技术封锁的体制已被激活，预期未来仍会加强对华科技封锁手段，尤其是华为取得技术突破。

2023年9月25日，中国北京，大批顾客在华为旗舰店外排队购买或预订新款 Mate 60 智能手机。摄：Kevin Frayer/Getty Images

## 8. 结语：制度、盟友与利益之争



最后，让我们回到华为的科技突破。

根据美国战略与国际研究中心的综合分析（见[Gregory C. Allen](#)和[William Alan Reinsch](#)的分析），华为和中芯国际联袂的7纳米芯片必然有用美国技术、软件和设备；而光刻机采用的则是荷兰 ASML 上代的 DUV 光刻机，并非被禁进口的先进 EUV 光刻机。DUV 光刻机本来多用作28纳米-14纳米的制程，但中芯国际将其改造成7纳米制程。

简单来说，华为和中芯国际是在现有的技术和仪器基础上发挥到极致，将制程推向7纳米。虽然华为的7纳米芯片属意料之外，但也是一个合理的突破。对此，分析指 DUV 光刻机能否商业化生产7纳米芯片成疑，原因是机器使用率高、良率低，以致制造成本高，事实上台积电一开始也尝试用 DUV 光刻机制造7纳米芯片，但后来改为使用更先进的EUV机。近日，美国官员亦[表示](#)，华为芯片的“性能和产量都无法与该设备的市场相匹配”。

从华为的事例可见，美国的封锁固然强大，但未必能达到预期的效果，而预测中美芯片战走势本是十分困难。彭博的分析[指出](#)，拜登政府于2022年实施的出口管制旨在让中国至少落后八年，但华为的例子可见中国比目前最先进的技术落后约五年。

那么，中美芯片的走向将是如何？一方面，张忠谋认为，“我们（美国、荷兰、日本、韩国和台湾）控制了所有的要道，如果我们想要扼住其喉咙，中国真的无能为力。”另一方面，比尔·盖兹则说，“美国永远不可能成功封锁中国获得高级晶片（great chips），我们只是迫使中国多花点时间和金钱，建立他们自己的产业、降低对我们的依赖。”

究竟哪派意见最后取胜，大概将取决于以下的因素：

1. 美国对华的科技封锁是否有效，能否堵塞漏洞；
2. 美国能否协调地缘政治盟友，制定统一的目标和行动（欧洲台日韩的国家利益和政策执行未必一致）；
3. 美国半导体企业多大程度上游说美国安全部门放松管制，毕竟中国占美国半导体企业30-40%的营收（[BIS](#)，P2），而这些收入亦是科研投入和维持技术领先优势的来源；
4. 当中国被排挤出国际前沿技术阵营时，中国自身的科研能力和半导体产业多大程度上取得突破性的进展；当中国终于追上今日的先进技术，国际前沿技术可能又已向前进了一步一个台阶；
5. 中国能否缓和甚至改变美国对华“竞争与对抗”的政策；

总括而言，中美在芯片竞争领域某程度是一对镜像：美国追求技术上的绝对领先地位，强化供应链韧性（去风险），而中国则力求科技自主创新，供应链自主可控，两者都用“安全”视角看待芯片，背后是大国地位、制度、盟友与利益之争。个中最吊诡之处，是美国掌握著“供给侧”的技术优势，中国掌握著“需求端”的市场优势，中国既是美国最大的竞争对手，又是最大的客户。

而这种交缠的关系，不单是芯片竞争的底层结构，也是中美关系的某种底层结构。

参考资料：

1. 克里斯·米勒：《晶片战争：矽时代的新赛局，解析地缘政治下全球最关键科技的创新、商业模式与台湾的未来》（台湾：天下杂志, 2023）
2. 曾航, 周廉卜, 涂逸君：《大国锁钥：国产替代浪潮》（中国：浙江大学出版社, 2023）
3. 汤士萱：《中国大陆推动半导体产业之发展与影响》（台湾国发会, 2021）
4. 贝恩公司：《中国半导体白皮书》（2022）
5. 亿渡数据：《2022年中国集成电路行业研究报告》（2022）
6. 艾瑞咨询：《“芯”火相传，玉汝于成：中国半导体IC产业研究报告》（2022）
7. 德邦证券：《全球半导体产业研究框架与市场现状》（2023）
8. 东方财富证券：《从全球产业链角度，看中国半导体芯片产业国产化投资框架和机遇》（2022）
9. 东莞证券：《半导体行业综述》（2023）
10. 浙商证券：《自主可控逻辑继续强化，聚焦低国产化率、先进制程突破——半导体设备2023年中期投资策略》（2023）
11. Larry Diamond, James O. Ellis Jr., and Orville Schell, Silicon Triangle: The United States, Taiwan, China, and Global Semiconductor Security（Stanford: Hoover Institution Press,2023）
12. Jon Bateman, China Technological “Decoupling” : a Strategy and Policy Framework (Washington, DC:Carnegie Endowment for International Peace,2022)
13. U.S. Department of Commerce Bureau of Industry and Security Office of Technology Evaluation, Assessment of the Status of the Microelectronics Industrial Base in the United States: A Study Conducted Under Section 705 of the Defense Production Act of 1950, as Amended (2023)
14. Boston Consulting Group and Semiconductor Industry Association, Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era (2021)
15. Semiconductor Industry Association, 2023 FACTBOOK(2023)
16. Semiconductor Industry Association, SIA Whitepaper: Taking Stock Of China’s Semiconductor Industry（2021）
17. Atlantic Council, United States–China Semiconductor Standoff: A Supply Chain Under Stress (2023)
18. Center for Strategic and International Studies, China’s New Strategy for Waging the Microchip Tech War (2023)
19. Center for Strategic and International Studies, Contextualizing the National Security Concerns over China’s Domestically Produced High-End Chip (2023)
20. Center for Strategic and International Studies, In Chip Race, China Gives Huawei the Steering Wheel: Huawei’s New Smartphone and the Future of Semiconductor Export Controls (2023)

[#中国半导体](#) [#芯片](#) [#科技战](#) [#半导体](#) [#中美关系](#) [#中美科技竞争](#)

本刊载内容版权为端传媒或相关单位所有，未经[端传媒编辑部](#)授权，请勿转载或复制，否则即为侵权。

端傳媒的下一程，需要你的守護。今天就成為訂閱會員，支持我們走下去，支持華文世界不可或缺的深度報導和多元聲音。點擊了解更多[會員計畫](#)