海外智库观点要览
北京大学国际战略研究院
2025年3月12日 第108期

美国政府 2022 年至 2024 年的芯片出口管制

巴拉特·哈里萨斯、安德烈亚斯·舒马赫[1]

编者按：在对华战略竞争背景下，美国试图通过芯片出口管制来扼制中国在人工智能领域的发展势头。美国为何要对特定物项进行管制？管制措施实施过程中遭遇了哪些挑战？美国又采取了哪些修补措施？本期推荐的文章梳理了 2022 年至 2024 年美国对华芯片出口管制的措施和实施效果，透过技术细节进行分析，揭示了管制规则出台以及多次修订更新背后的逻辑，供读者参考。

2022 年 9 月，时任美国白宫国家安全顾问杰克·沙利文宣称，确保美国在人工智能等关键技术领域维持“尽可能大的领先优势”是国家安全的当务之急。实施出口管制是这项任务的先导工作。出口管制的目的并非阻碍中国当前的技术发展，而是更为长久地削弱中国在人工智能领域的能力。

一、2022 年 9 月出台的出口管制措施：蓄意扼杀

2022 年的出口管制措施旨在扼杀中国在人工智能领域的雄心。美国认识到，前沿人工智能技术对算力的需求不断提升，而算力依赖最先进的微处理器和内存芯片。因此，美国决定将其在全球半导体供应链关键节点上的主导地位武器化。先进半导体的生产所需的复杂供应链集中在美国和少数几个美国的盟国，这为美国修订出口管制规则提供了机会。

[1] 巴拉特·哈里萨斯（Barath Harithas）是美国战略与国际问题研究中心（CSIS）经济学项目高级研究员、国际商务项目主席。安德烈亚斯·舒马赫（Andreas Schumacher）曾任 CSIS 经济学项目和国际商务项目的访问技术研究员。本文英文原文登载于 CSIS 官方网站：https://www.csis.org/analysis/where-chips-fall-us-export-controls-under-biden-administration-2022-2024。此为中文摘译版。

美国采取了层层递进的精准措施。首先，美国切断了中国直接获取先进半导体的渠道。然后，美国拒绝向中国提供设计和制造这些芯片所需的工具（软件和机械设备）。最后，美国阻止中国获取在本土制造这些机械设备所需的关键零部件。这一连串限制措施旨在将中国困在技术的死胡同里，并巩固美国的主导地位。

二、2023年10月的出口管制措施更新：堵住漏洞

然而，以上措施的缺陷逐渐显现，主要体现在三个方面：（1）技术缺漏：由于技术官僚的盲点、对静态标准的过度依赖，简单的变通之法有了可乘之机；（2）法律规避：企业绕开限制，在法律允许的范围内继续开展业务；（3）非法逃避：通过走私等行为直接破坏出口管制的效果，对执法机制构成挑战。

1.技术缺漏

2022年的出口管制措施旨在对可获取的总处理能力（TPP）以及互连通信速度上限（interconnect speed threshold）进行限制。当时的假设是，人工智能的能力主要取决于基础的并行处理能力，以及数据中心和超级计算设施中大量设备高效通信的能力，即性能等于质量乘以数量。这也是“小院高墙”原则的实践，即仅限制中国获取最先进的半导体，同时允许美国企业继续向中国出售不那么先进的芯片和制造设备。

然而，这一规则存在两个关键疏漏。首先，它低估了通过大量堆叠性能稍逊的芯片来强行扩展人工智能模型规模的做法。这种做法也许效率低下，却是一种有效的变通之法。其次，美国商务部工业和安全局（BIS）过度强调互连通信速度的“卡脖子”作用，未能预见这一限制很容易被规避。制造商可以低报芯片的互连通信规格，或销售“可配置”速度的芯片。

这些现象反映了一个更广泛的问题，即低估了中国突破技术限制的能力。例如，中芯国际在没有尖端的极紫外(extreme ultraviolet，EUV)光刻设备的情况下，通过多重曝光（multipatterning）技术，使用深紫外（deep ultraviolet，DUV)光刻设备制造出了7纳米芯片——远低于出口管制设定的14/16纳米限制。

2023年的修订：BIS意识到其2022年的管制措施过度聚焦单个芯片的规格，因此弃用了容易被规避的互连通信速度参数，并将TPP门槛由每秒4800千兆次运算降低至每秒1600千兆次。

为了堵住潜在的漏洞，BIS 还引入了另外两项标准。一是性能密度要求，针对的是那些物理尺寸较小的芯片，此类芯片的绝对计算能力较低，但其计算效率与性能最强的芯片相当。二是数据中心标准，针对的是为大规模系统内部互连通信设计的芯片，因为先进人工智能的训练并非依靠单个芯片的性能，而是依靠数据中心内部众多芯片的高效集群。

此外，经过美国的外交努力，2023 年 3 月，荷兰同意限制出口能够制造 14 纳米及以下芯片的 DUV 光刻设备，以及可用于通过多重曝光技术制造 7 纳米及以下芯片的工具。

2.法律规避

英伟达公司针对中国市场推出了其旗舰产品 H100 和 A100 芯片的修改版本，即 H800（300GB/秒）和 A800（400GB/秒）。这两款芯片经过专门设计，互连通信速度低于 600GB/秒的上限，同时仍具备相当强大的性能。

2023 年的修订：包括英伟达 H800 和 A800 在内的多款修改版芯片被列入管制清单。

3.非法逃避

2022 年的管控措施主要针对中国境内的实体，这使得中国企业有可能通过海外子公司或合作伙伴获取受限制的半导体技术。

2023 年的修订：BIS 将限制范围扩大到中国以外，针对与中国关系密切的国家。此举旨在防止半导体技术通过第三国转移。

三、2024 年的出口管制措施更新

尽管做出了最大努力，但 2023 年出现的三大问题并未消失，只是改头换面了。

1.技术缺漏

过去的管制措施主要聚焦图形处理器（GPU）和基础算力，却低估了内存带宽对人工智能系统性能的关键作用。人工智能训练面临“内存墙”问题，即由于内存带宽有限，数据供应的速度慢于 GPU 的处理速度。

而高带宽内存(HBM)的出现使数据访问速度提高了 130 多倍。如果没有 HBM，在用于前沿人工智能训练的大型 GPU 集群中增加更多的 GPU 还会适得其反。此

外，HBM 的生产需要高度成熟的制造能力以及与 GPU 的复杂集成。全球只有少数几家公司能够大规模生产这些组件。管制 HBM 技术可能比单独管制 GPU 更有效。

2024 年的修订：新规禁止向中国销售 HBM2E（第二代 HBM 的增强版）及以上级别的 HBM。

2.法律规避

虽然美国工厂生产的半导体制造设备不能出口到中国，但只要在海外工厂生产的相同设备在制造、销售、安装或维护过程中没有美国人参与，即便客户在美国的实体清单上，也可以合法地出售给中国的先进逻辑芯片厂。

2024 年的修订：为解决这一问题，美国引入了针对半导体制造设备（SME）的外国直接产品规则（FDPR），规定使用原产于美国的技术、软件或设备在国外生产的产品也受美国出口管制规则的限制。此举旨在防止企业通过转移生产或依靠外国设施向实体清单上的中国企业提供受限制的技术。

2024 年的修订引入了两项强有力的新机制。一是极大地拓展了域外管辖的范围，任何设施当中哪怕有一片美国芯片，在该设施当中生产的设备也要受到管制。二是新增了一个分类（ECCN 3B993），涵盖既可用于传统芯片生产，又可用于先进芯片生产的工具，尤其针对中国采用的多重曝光技术。这些管制措施还涵盖了生产先进内存所需的设备，以及一些正在开发的技术，例如纳米压印光刻等可能规避原有限制的技术。

3.不完善的实体清单

另一个难题在于事先确定哪些公司属于“华为复合体”。华为有众多子公司、关联公司和间接合作伙伴，这些企业都不在原有措施的管控范围内。

2024 年的修订： BIS 依据 FDPR 的“脚注 5”，将 16 家实体列入管制清单。“脚注 5”强化了 FDPR 机制，意图复制“华为效应”，将高价值的华为关联企业从全球供应链当中剔除出去。BIS 还扩大了“脚注 5”下半导体制造设备的范围。此外，BIS 将 140 家企业加入实体清单。此次清单修订还涵盖了一些投资公司，这些公司通过战略投资和收购推动了中国先进芯片的发展。

4.执行最终用途限制的局限性

拜登政府的出口管制精准针对中国的尖端半导体生产。然而，这种方式存在局限性。例如，中芯国际的先进逻辑芯片厂和传统芯片厂由一个自动化的架空轨

道连接在一起，使晶圆可以在这两个工厂之间转移。从功能上看，这实际上就是一个工厂。

2024 年的修订：针对这一问题，管制规则的“红旗警示 27”新增了一项终端用户验证要求，以确保受管制的交易不涉及任何与生产先进集成电路的地点有物理连接的设施。

5. 非法逃避

一些调查报告认为存在大规模的芯片走私活动，其中一些大宗订单金额超过了 1 亿美元。重要的是，这些交易不仅包含数以千计的先进半导体，还包括整套大规模人工智能开发所需的服务器。

2024 年的修订：BIS 新增了八项“红旗警示”，以加强合规工作。此外，BIS 还引入了一项新的标准，要求企业进行尽职调查，以确保出口物项不被用于受限的最终用途或不被转运到未经授权的目的地。

四、结语

这些管制措施能否成功，关键在于其“多边化”程度。日本和荷兰已经采取了同等限制措施，美国也向德国、韩国和新加坡等国提供了例外条款，以鼓励它们参与协调一致的管控。然而，这一进程面临两大挑战。

首先，关键盟国国内政治的不稳定使合作复杂化。韩国戒严令事件之后，国内政策环境难以预测。在日本和德国，执政联盟的脆弱性可能会削弱它们做出决定性承诺的能力。其次，出口管制协议不是孤立存在的，而是受到美国贸易政策和外交行动等大环境的影响。美国咄咄逼人的关税政策或高压的谈判手段可能会疏远盟友，使协调一致变得更加困难。此外，出口管制不再是一场一边倒的比赛。中国政府最近的举措，例如对关键矿产出口实施限制，释放出了从战略克制转向积极反制的信号。

在此背景下，美国必须超越对管制机制的完善，专注于构建持久的联盟，这些联盟不仅要保障国家安全利益，更要推动创新和竞争优势，以保持对中国的领先。

（邵美璇、陈丹梅摘译，归泳涛、孙艺林校）