

2016年6月，中国的超级计算机“神威·太湖之光”超越了同是中国制造的超级计算机“天河二号”，荣登世界超级计算机榜榜首。在2018年6月美国“顶点”（Summit）出现之前，**中国已在世界超级计算机榜上连续登顶5年**。事实上，中国除了在最快速度榜上是登顶常客，在上超级计算机Top500榜的数量上（226台超级计算机上榜），也一直独占鳌头，几乎是位列第二的美国（114台）的两倍。

那超级计算机到底能给我们的生活带来什么？它和我们平时所用的计算机又有什么区别呢？

超级计算机 到底“超”在哪

●张磊

超级
计算机
简史

“超级计算机”一词，最早出现于1929年美国的《纽约世界报》，但真正现代意义上的“超级计算机”概念则是1964年美国CDC公司（Control Data Corporation）的计算机设计师

Tips

超级计算机的性能都用“每秒浮点运算次数”（FLOPS）来表示，最早的超级计算机是MFLOPS级的（M表示 10^6 ），现代超级计算机都能达到PFLOPS级（P表示 10^9 ）。



与电气工程
师希穆尔·克雷
（Seymour Cray）所
提出的。他当时所指的是他参
与设计制造的最快的计算机CDC
6600（每秒浮点运算次数高达100万次，
霸占超级计算机榜首长达5年）。

中国第一台自主研制的现代意义上的超级计算机，是1983年的银河系列的“银河一号”，其运算速度为100MFLOPS。2010年我国研制成功的“天河一号”二期首次登上全球Top500榜榜首，其持续运算速度高达2.566 PFLOPS。此后，2013年的“天河二号”



PFLOPS) 超越“顶点”成为新的超级计算机霸主，并保持至今。如今世界的超级计算机已经形成了中日美三足鼎立的新格局。

超级计算机的威力

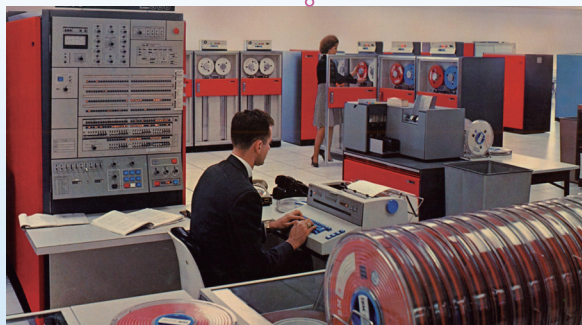
笼统地说，超级计算机可以用在几乎一切需要高算力的问题上。

比如，前几年著名的谷歌AlphaGo系列在围棋棋盘上迫使世界顶尖棋手柯洁与李世石都投子认输，AlphaGo的背后除了学习如何下棋的深度学习网络外，一个重要支撑就是由谷歌自主设计的张量处理器（Tensor Processing Unit，TPU）构成的超级计算机集群。

超级计算机应用最多的还是在需要处理大量数据的学术研究领域。比如，1976年，美国伊利诺伊大学的两位数学家哈肯与阿佩尔在两台IBM360计算机上用近1200个小时，完成了100

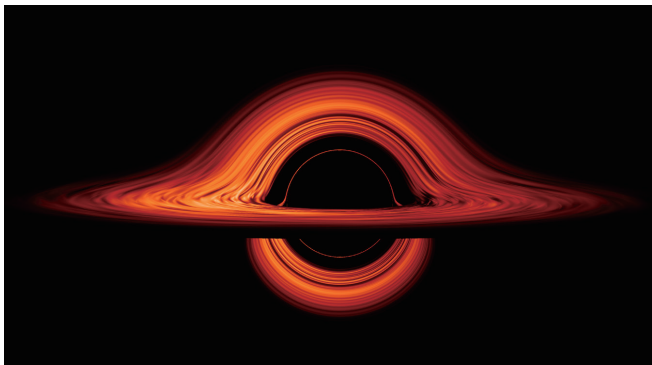
(33.86PFLOPS)

与2016年的“神威·太湖之光”（93.01 PFLOPS）两度登顶Top500榜，直到2018年被美国的“顶点”（122.3 PFLOPS）超越。2020年日本的“富岳”（Fugaku，442



IBM360计算机

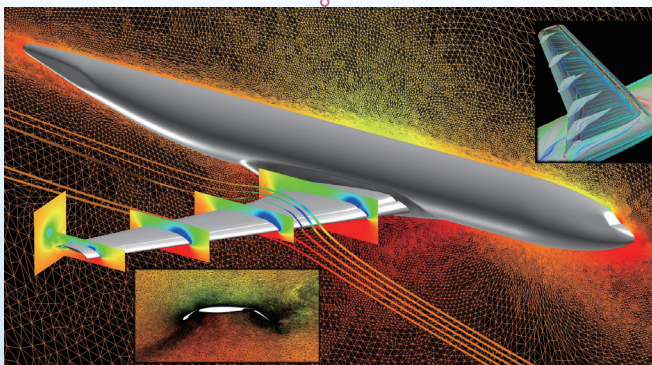
多亿个判断后，终于证明了在1852年提出的、困扰人类长达一个多世纪的、被誉为“近代数学史三大猜想”之一的四色定理，轰动了全世界。这是人类首次利用计算机解决数学难题，是超级计算机发展史上的一座里程碑。近年来超级计算机解决的数学问题逐年增多，很多几十年甚至几个世纪都未能解决的数学问题被超级计算机一个个解决了。



黑洞模拟

除了数学外，超级计算机对物理研究也有极大的贡献。比如我们在《星际穿越》中看到的黑洞卡冈图雅，便是超级计算机模拟出来的。超级计算机还是物理学家们研究粒子物理、凝聚态与材料物理的重要帮手。它在宇宙学方面也大放光彩，例如帮我们探索月球形成之因、太阳系的过去与未来，甚至银河系的命运——38.5亿年后银河系与邻居仙女座星系即将发生的大碰撞，天文学家们用超级计算机模拟了整个过程，以研究这一事件对太阳系和地球可能带来的影响。

如果你认为上面的这些例子都过于学术化，和我们普通人的关联不大的话，那么还可以让你看一些我们日



模拟大客机飞行过程中的空气运动细节

常生活中的例子。

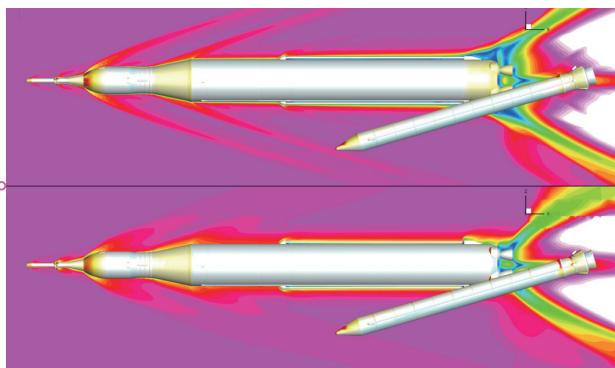
在大客机的设计上，超级计算机可以有效地模拟大客机飞行过程中的空气运动细节，从而帮助设计师决定如何优化飞机外形及选择哪一种材料。在超级计算机出现之前，研制飞机需要先在风洞中不断进行实验，然后由试飞员驾驶真机到天上试飞，这个过程中会发生各种意料不到的



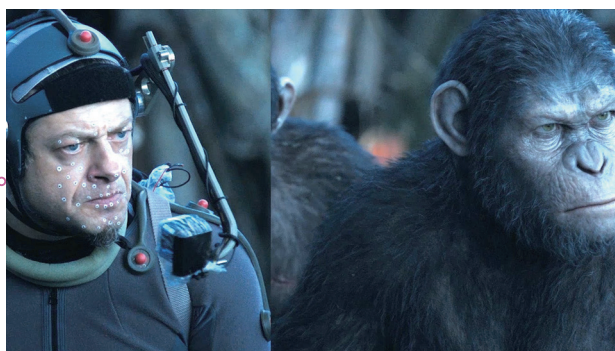
情况，甚至导致人员丧生。而超级计算机是非常有用的飞机辅助设计工具，它的出现，不但将飞机的设计与制造周期大大缩短，还能极大降低试飞员的伤亡率。我国首架自主研发的大飞机C919就是在“天河二号”的助力下完成设计的。

同样，在我国首个轨道飞行器“天宫一号”返回地球大气层的过程中，我国科研人员使用“神威·太湖之光”对其返程情况做了计算机模拟，为“天宫一号”的返程姿态调整和路线选择提供了数据支持。

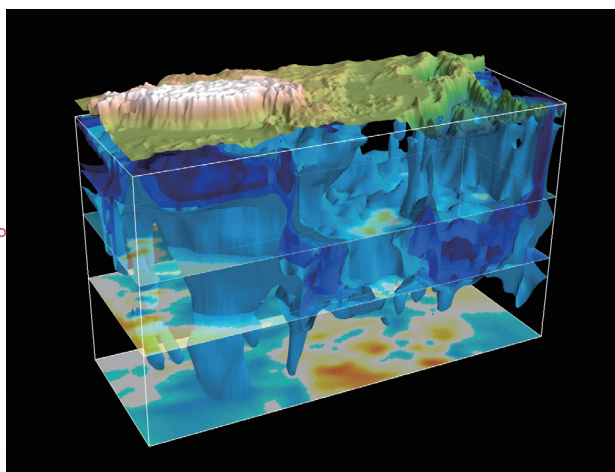
我们在电影中看到的很多视觉特效的背后，也有超级计算机的影子。很多



固体火箭推进器分离模拟



电影视觉特效



地震模拟



政务系统也会接入超级计算机来进行资料管理与分析。超级计算机已经渗透到我们生活中的方方面面。

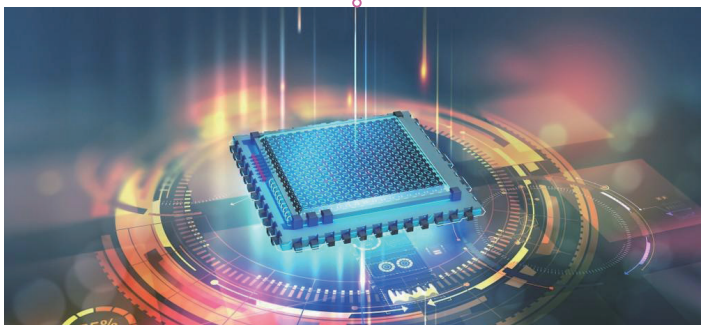
说了这么多超级计算机的应用，我们再回过头来看一下，到底什么是超级计算机？

什么是超级计算机

传统上，我们将持续运算速度超过1MFLOPS的计算机称为超级计算机。从技术角度说，超级计算机可以分为三层：基础层、中间层与应用层。

基础层是超级计算机的核心，它包括了超级计算机的所有硬件设备、架构、电源供应系统、冷却系统，以及大量辅助设备。就和我们现在所用的个人电脑和智能手机一样，超级计算机的运算核心肯定不止一个，从硬件角度来看就是一个大型并行运算系统。因此要提升超级计算机的性能，除了在各个单一处理单元上下工夫外，更重要的是从架构上提升并行能力与可扩展性。

从架构上看，超级计算机的发展分三个时代：单一高性能处理器的时代、20世纪80年代的大规模并行计算（MPP）的时代，以及现在中国所用的异构集群的时代。



对于超级计算机的研制来说，架构的研发与制造往往比芯片更重要。比如中国的“天河二号”超级计算机，它共有16 000个运算节点，每个节点配备两个英特尔Xeon E5 12核心的中央处理器、三个Xeon Phi 57核心的协处理器（运算加速卡）。虽然采用的是英特尔的芯片，但整体架构是我国自行研制的，而且最终性能实现了突破，从同样采用英特尔芯片的超级计算机中脱颖而出。

因此，虽然我国在芯片设计与制造业上与国外还有一定的差距，但靠着优秀的架构设计，我国依然打破了美国

与日本在超级计算机领域独霸一方的局面，为我国在基础科学、生物制药、基因科技、人工智能等领域的发展提供了坚实的基础。

中间层的主要工作是为应用层提供技术、数据与算法支持，它包括六大设备与三大网络，负



Tips

一个运算节点就是一个计算单元。节点有输入属性和输出属性，能完成相对独立的计算功能。整个计算过程会分成一些小的单元，这些单元相互关联又相互独立，每个单元会完成一些计算步骤，形成一个相对独立的任务，然后将计算结果交给下一个计算单元进行进一步处理。

责用户登录、任务运算、数据存储等。

应用层一般指人们利用超级计算机搭建的各种任务系统，比如地球模拟、天气模拟等。前面举的很多用例子都发生在应用层。

超级计算机的未来

随着人类科技的发展，超级计算机行业在不断发生变革。尤其是量子计算机、网格计算等技术，为超级计算机的发展带来了不少新的思路。

比如，目前最强的超级计算机

“富岳”的运算速度是442 PFLOPS，在处理某些特定问题时甚至可以达到2EFLOPS（E表示 10^{12} ）。但2013年时比特币的全网算力便已经达到了1EFLOPS，到2018年时更是飙升到了35EFLOPS。

于2020年宣告停止官方支持的分布式计算项目SETI@home的运算速度为668TFLOPS，而另一个更著名也更重要的分布式项目Fold@home的运算速度则达到了2.43EFLOPS，它解决的蛋白质折叠问题是人类生物医药发展史的一座里程碑。2020年，在它上面运行的COVID-19研究项目为疫苗的研制提供了不容小觑的帮助。

区块链网络与分布式计算网络在某种程度上为我们设计超级计算机内部的高速网络与管理系统带来了新的思路和视角，而量子计算机、光子计算机与自旋计算机等却可能更加直接地为超级计算机带来速度上的提升。

比如去年年底我国登上量子计算速度顶峰的“九章”，它虽然不是通用计算机（即可通过编程来完成任何运算需求的计算机），但却可以对特定问题进行超高速运算——它解决高斯玻色取样问题只需200秒，而目前的超级计算机需要花费近6亿年。“九章”的适用范围虽然很有限，但我们可以将它作为超级计算机的一个特用化超级节点，从而使超级计算机的速度得到质的提升。

另一方面，量子计算机理论中的Toffoli逻辑门也为我们设计更强的超级计算机提供了新的视野——Toffoli逻辑门可以用来组建更多经典电路中的逻辑门，而它的最大特点是：理论上它几乎不会发热。因此。用Toffoli逻辑门构建的计算机只需要简单、小型的冷却设备，这对提升超级计算机的性能有很大的帮助。

Tips

理论上来说，计算元件在工作中散发的热量与输出相对输入丢失的信息量是正相关的。比如经典逻辑门中，基本都是输入两个信息而只输出一个信息，损失的一个信息会转换为热量。而量子逻辑门Toffoli的输入和输出信息量是相同的，所以它理论上不会丢失任何能量，也因此不会有信息被转换为热量，发热量几乎为0。

正在理论发展阶段的光子计算机和自旋计算机分别使用光子代替电子、用电子自旋的磁效应代替电子本身的运动来传递数据，因此将拥有更快的信息传输与处理速度。

未来量子计算机、光子计算机和自旋计算机一旦发展成熟，将可能构建出具有全新架构与超凡性能的超级计算机。