



南開大學
Nankai University

计算机学院
并行体系结构调研报告

从超算发展看并行体系结构

姓名：刘家骥
学号：2211437
专业：计算机科学与技术

2024 年 3 月 17 日

目录

1 我国艰难而迅速的超算发展	2
1.1 超算简介	2
1.2 我国超算发展历史	2
1.3 同时期世界超算发展	4
1.4 中国超算发展与世界超算发展的对比	5
2 美国超级计算机“极光”(Aurora)	6
3 超算发展的意义及发展趋势	8
3.1 超算是“国之重器”	8
3.2 超算的前景	8

1 我国艰难而迅速的超算发展

1.1 超算简介

超算（超级计算机）主要用于处理复杂的科学计算、模拟和大规模数据处理等任务，具备出色的计算性能和处理能力。适用于处理需要大量计算资源的问题，如气象模拟、分子模拟、基因组学分析等。作者：房子下面一头猪

超级计算机是一种高性能计算集群，集群有众多计算节点，通常由大量的处理器、高速互连网络和大容量存储器组成。集群由众多计算节点组成，由集群管理系统通过高速 IB 网或专用网络将多个计算机节点连接在一起，统一调度管理，从而实现强大的计算功能。

1.2 我国超算发展历史

我国的超级计算机研制起步于 20 世纪 60 年代。到目前为止，大体上经历了三个阶段。

第一阶段：自 20 世纪 60 年代末到 70 年代末，主要从事大型机的并行处理技术研究；

第二阶段：自 20 世纪 70 年代末至 80 年代末，主要从事向量机及并行处理系统的研制；

第三阶段：自 20 世纪 80 年代末至今，主要从事 MPP 系统及工作站集群系统的研制。

1983 年 12 月 4 日，我国才研制出第一个超级计算机——由军方主导研制的银河一号超级计算机。并在之后继续成功研发了银河二号、银河三号、银河四号为系列的银河超级计算机，使中国成为世界上少数几个能发布 5 至 7 天中期数值天气预报的国家之一。

1992 年，国防科技大学研制出“银河-II”通用并行巨型机，峰值速度达每秒 10 亿次，主要用于中期天气预报。

1993 年，国家智能计算机研究开发中心（后成立北京市曙光计算机公司）研制成功“曙光一号”全对称共享存储多处理机，这是国内首次以基于超大规模集成电路的通用微处理器芯片和标准 U-NIX 操作系统设计开发的并行计算机。

1995 年，曙光公司又推出了“曙光 1000”，峰值速度每秒 25 亿次浮点运算，实际运算速度上了每秒 10 亿次浮点运算这一高性能台阶。“曙光 1000”与美国 Intel 公司 1990 年推出的大规模并行机体系结构与实现技术相近，与国外的差距缩小到 5 年左右。

1997 年，国防科技大学研制成功“银河-III”百亿次并行巨型计算机系统，峰值性能为每秒 130 亿次浮点运算。

1997-1999 年，曙光公司先后在市场上推出“曙光 1000A”、“曙光 2000-I”、“曙光 2000-II”超级服务器，峰值计算速度突破每秒 1 000 亿次浮点运算。

1999 年，国家并行计算机工程技术研究中心研制的“神威 I”计算机，峰值运算速度达每秒 3 840 亿次，在国家气象中心投入使用。

2004 年，由中科院计算所、曙光公司、上海超级计算中心三方共同研发制造的“曙光 4000A”，实现了每秒 10 万亿次运算速度。

2008 年，“深腾 7000”是国内第一个实际性能突破每秒百万亿次的异构机群系统，Linpack 性能突破每秒 106.5 万亿次。

2008 年，“曙光 5000A”实现峰值速度 230 万亿次、Linpack 值 180 万亿次。作为面向国民经济建设和社会发展的重大需求的网格超级服务器，“曙光 5000A”可以完成各种大规模科学与工程计算、商务计算。

2009 年 10 月 29 日，中国首台千万亿次超级计算机“天河一号”诞生。这台计算机每秒 1 206 万亿次的峰值速度和每秒 563.1 万亿次的 Linpack 实测性能，使中国成为继美国之后世界上第二个能够

研制千万亿次超级计算机的国家。

2010 年，我国自主研发的“星云”千万亿次计算机在第三十五届超级计算机 TOP500 排行榜荣获第二名的佳绩，进入世界超级计算机的三甲。

2011 年，我国“天河-1A”超级计算机运算速度世界排行榜第一位，“神威·蓝光”率先完成 CPU 国产化。

2018 年，我国累计有三台超级计算机进入了 E 级（每秒运算一百亿亿次）超算研发，分别是“曙光”、“天河”和“神威太湖之光”，并实现了 CPU 和加速器的全面国产化。

2019 年，全球超级计算机 TOP500 排行榜显示中国超级计算机有 226 台进入了榜单，占比达到 45.2%，在数量上超过了美国。

2022 年，“神威太湖之光”进入 TOP500 榜单的第六名。

如图1.1所示，截止到 2023 年，中国超算在国际上已享有一席之地。

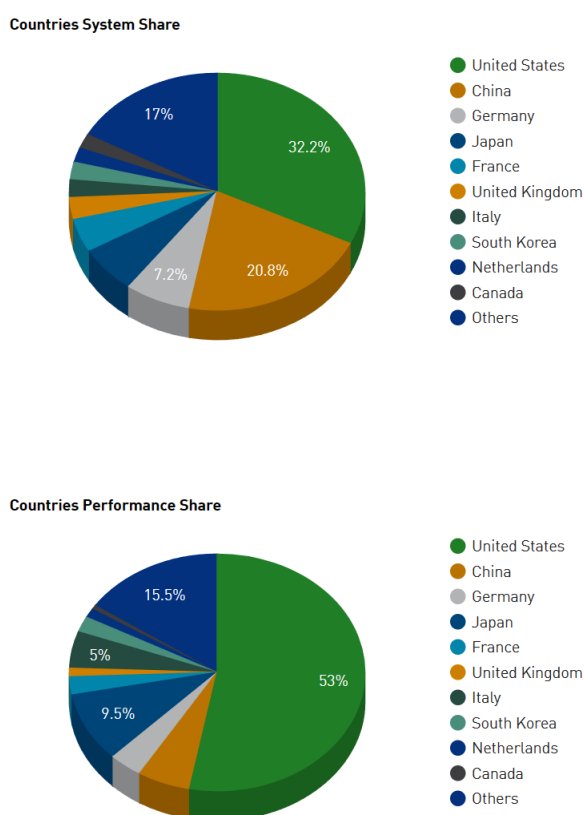


图 1.1: 2023 年 11 月各国份额

表 1 中国超算发展大事记

1983	中国第一个超级计算机——银河一号，研制成功
1993	曙光一号研制成功，实现了从向量型计算机向并行型计算机的突破
2009	中国首台千万亿次超级计算机“天河一号”诞生
2010	“星云”千万亿次计算机在第三十五届超级计算机 TOP500 排行榜获得第二名
2011	“天河-1A”超级计算机运算速度位居世界排行榜第一位
2019	中国超级计算机有 226 台进入 TOP500 榜单，在数量上超过美国
2022	“神威太湖之光”进入 TOP500 榜单的第六名

1.3 同时期世界超算发展

“超级计算 (Supercomputing)”一词首次出现在 1929 年《纽约世界报》“IBM 为哥伦比亚大学建造大型报表机 (tabulator) 的报道”：由数百、数千甚至更多的处理器 (机) 组成，能计算普通 PC 机和服务器不能完成的大型、复杂课题的计算机。

1961 年：IBM 7030 STRETCH 超级计算机，计算速度 1.2MF(百万次)，显著超出顶尖商用机的数量级而被视为早期的超级计算机。

1965 年，由西摩·克雷 (通常被认为是超级计算之父) 在控制数据公司 (CDC) 工作时设计的 CDC 6600 被认为是第一台超级计算机。它被认为是第一台超级计算机，因为它发布的时候，它的速度比世界上最快的超级计算机 IBM 7030 快 10 倍。

1965 年：IBM 的 System 360 大型主机，美国航天局用于首次载人登月任务。

1974 年：CDC 推出 CDC STAR-100，使用向量处理器 (Vector Processor)，被认为是第一台向量机。

1976 年 3 月：克雷公司利用仙童公司发明的集成电路研制世界第一台具有流水结构的单向量机超级计算机 “Cray-1”，运算速度每秒 2.5 亿次。

1982 年：克雷公司 Cray X-MP/2，世界上第一部并行向量计算机，计算速度突破 GigaFLOP/s (每秒十亿次浮点计算)

1992 年：英特尔 Paragon 超级计算机，历史第一台突破万亿次浮点计算。

1997 年：IBM 超级计算机 “深蓝” 击败国际象棋世界冠军卡斯帕罗夫。

2000 年后，超级计算机的竞争逐渐激烈，美国一家独大的局势不复存在，日本在超算竞争中异军突起。

2003 年：世界前十超级计算机，日本 “地球模拟器” (Earth Simulator) 位居榜首。它被设计用来预测地壳运动和解决环境问题，是当时世界上最强大的超级计算机。

2010 年：德国汉堡国际超级计算大会第 35 届全球超级计算机五百强，美国克雷公司“美洲虎”(Jaguar) 稳坐冠军；亚军-中国“星云”，创造中国新纪录，打破美国对前三甲的长期垄断。

2011 年 6 月：日本超级计算机“京”运算速度全球首次突破每秒 1 万万亿次，成为 TOP500 的第一名，算力比其后面五台超级计算机算力总和还要强大。

2018 年 6 月：IBM 与 Nvidia 联合建造的位于田纳西州的橡树岭国家实验室的美国能源部超级计算机 Summit，浮点运算速度 12.23 亿亿次、峰值接近每秒 18.77 亿亿次，登上 TOP500 榜首。

2022 年，美国田纳西州橡树岭国家实验室制造出全球第一台名为 Frontier 的百亿亿次级计算机。

Growth of Supercomputing

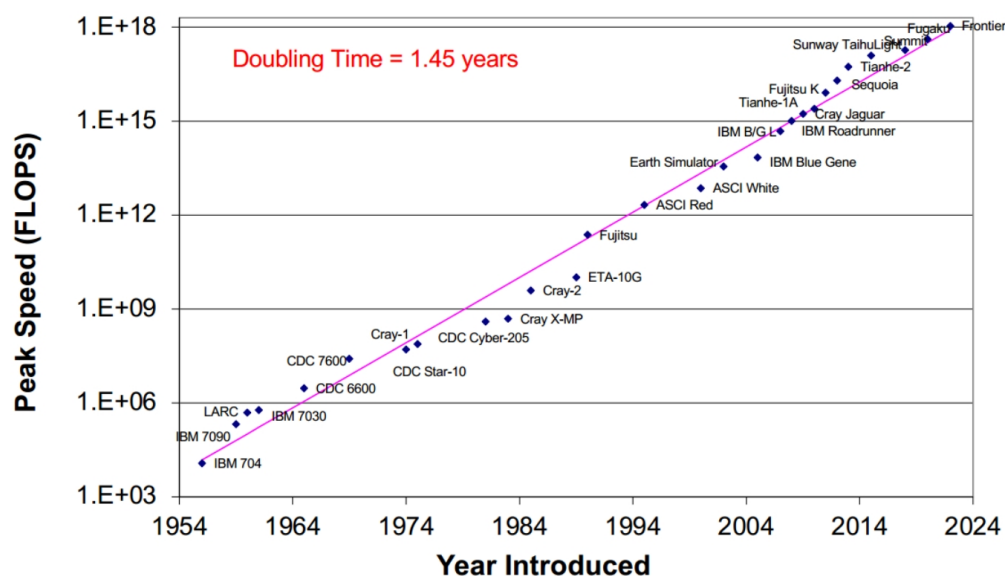


图 1.2: 超算的发展

1.4 中国超算发展与世界超算发展的对比

表 2: 同时期国内外对比

	中国/算力	外国/算力
1983	银河-1 号/100 MFlops	苏联 “M-13” 计算机/2.4 GFlops
1992	银河 II 型/1 GFlops	美国 “Paragon” /1 TFlops
1997	银河 III 型/13 GFlops	美国 “ASCI Red” /1.338 TFLOPS
2003	曙光 4000A/10 TFlops	日本 “Earth Simulator” /35.61 TFlops
2010	“天河-1A” /2.566 PFlops	美国 “Jaguar” /1.759 PFlops
2011	“天河-1A” /2.566 PFlops	日本 “K” /8.162 PFlops
2015	“天河-2A” /33.862 PFlops	美国 “Titan” /17.59 PFlops
2023	“神威·太湖之光” /93.01 PFlops	美国 “Frontier” /1194.0 PFlops

如表2所示，从表格中可以明显看出，中国超算发展起步晚，但是发展速度极快，在 2010 年反超其他国家成为世界第一，此后 TOP500 前十名中总有中国超算的身影。

2 美国超级计算机“极光” (Aurora)

Rank	System	Cores	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	Power (kW)
1	Frontier - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	8,699,904	1,194.00	1,679.82	22,703
2	Aurora - HPE Cray EX - Intel Exascale Compute Blade, Xeon CPU Max 9470 52C 2.4GHz, Intel Data Center GPU Max, Slingshot-11, Intel DOE/SC/Argonne National Laboratory United States	4,742,808	585.34	1,059.33	24,687
3	Eagle - Microsoft NDv5, Xeon Platinum 8480C 48C 2GHz, NVIDIA H100, NVIDIA Infiniband NDR, Microsoft Microsoft Azure United States	1,123,200	561.20	846.84	
4	Supercomputer Fugaku - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan	7,630,848	442.01	537.21	29,899
5	LUMI - HPE Cray EX235a, AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz, AMD Instinct MI250X, Slingshot-11, HPE EuroHPC/CSC Finland	2,752,704	379.70	531.51	7,107
6	Leonardo - BullSequana XH2000, Xeon Platinum 8358 32C 2.6GHz, NVIDIA A100 SXM4 64 GB, Quad-rail NVIDIA HDR100 Infiniband, EVIDEN EuroHPC/CINECA Italy	1,824,768	238.70	304.47	7,404
7	Summit - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	2,414,592	148.60	200.79	10,096
8	MareNostrum 5 ACC - BullSequana XH3000, Xeon Platinum 8460Y+ 40C 2.3GHz, NVIDIA H100 64GB, Infiniband NDR200, EVIDEN EuroHPC/BSC Spain	680,960	138.20	265.57	2,560

图 2.3: 2023 年 11 月 TOP500 前十名

如图2.3所示, 在 2023 年 11 月的 TOP500 排行榜上, 由美国能源部 (DOE) 赞助、英特尔和 Cray 为阿贡国家实验室设计的超级计算机 Aurora 以 585 petaFLOPS 的性能排名第二。



图 2.4: 超级计算机“Aurora”

表 3: “Aurora” 基本参数

供应商	总核心数	Rmax (PFlop/s)	Rpeak (PFlop/s)	功率 (kW)
Intel	4,742,808	585.34	1,059.33	24,686.88

阿贡国家实验室的 Aurora 交付后将成为美国首个基于英特尔架构构建的百亿亿次高性能计算系统。在分包商惠普企业 (HPE) 和英特尔的帮助下，再加上美国能源部 (DOE) 的支持，Aurora 的性能预计将超过 exaFLOPS，相当于每秒十亿亿次计算。凭借其极高的规模和性能水平，Aurora 将为科学界提供生物化学、工程、天体物理学、能源、医疗保健等领域最先进研究所需的计算能力。

Aurora 拥有超过 9000 个节点，每个节点由两个 Intel Xeon Max 处理器、六个 Intel Max 系列 GPU 和统一内存架构组成，每个节点提供最大 130 teraFLOPS 的计算能力。它拥有大约 10 PB 的内存和 230 PB 的存储空间。该机器预计消耗约 60 兆瓦的电力。相比之下，当今世界上最快的计算机 Frontier 使用 21 MW，而 Summit 使用 13 MW。

如图2.5所示，可看出“Aurora”的处理器、操作系统、编译器等基本信息。

Site:	DOE/SC/Argonne National Laboratory
System URL:	http://aurora.alcf.anl.gov
Manufacturer:	Intel
Cores:	4,742,808
Processor:	Xeon CPU Max 9470 52C 2.4GHz
Interconnect:	Slingshot-11
Installation Year:	2023
Performance	
Linpack Performance (Rmax)	585.34 PFlop/s
Theoretical Peak (Rpeak)	1,059.33 PFlop/s
Nmax	22,089,600
Power Consumption	
Power:	24,686.88 kW (Submitted)
Power Measurement Level:	2
Software	
Operating System:	SUSE Linux Enterprise Server 15 SP4
Compiler:	icx, Intel oneAPI DPC++/C++ Compiler 2024.0.0 (2024.x.0.20230613)
Math Library:	Intel Math Kernel Library 2023 update 2
MPI:	aurora-mpich/51.2/icc-all-pmix-gpu; MPICH Version 4.1A1

图 2.5: “Aurora” 基本信息

Top500 在 2023 年 11 月时事通讯中所述，Aurora 的 Top500 条目仅包含一半的硬件。一旦整个系统上线并进行优化，Aurora 仍有望超过 2 exaFLOPS 的性能，超过 Frontier，成为 Top500 中排名第一的超级计算机，因为优化超级计算机可以带来显著的性能提升。

3 超算发展的意义及发展趋势

3.1 超算是“国之重器”

我国超算经历了四十多年的发展，从全面落后到赶上世界顶尖水平再到与发达国家顶峰相见，仅仅只有了三十年时间，超算带来的巨大的科技变革，极大的推动了我国科技水平和生产力的发展，国防事业也由此迈上新的台阶。

在二十大报告中，习主席指出：“科技是第一生产力、人才是第一资源、创新是第一动力，深入实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略，开辟发展新领域新赛道，不断塑造发展新动能新优势。”“一些关键核心技术实现突破，战略性新兴产业发展壮大，载人航天、探月探火、深海深地探测、超级计算机、卫星导航、量子信息、核电技术、大飞机制造、生物医药等取得重大成果，进入创新型国家行列。”

“高性能超级计算机，是世界发达国家争抢的重要‘制高点’，对国家安全、经济和社会发展，具有举足轻重的支持作用。”中国科学院院士陈国良 11 月 26 日在无锡市举行的 2020 智算未来用户大会暨《工业互联网数字化云创新发展白皮书》发布会上说。

超级计算是解决国家经济建设、社会发展、科技进步、国家安全等一系列重大挑战性问题的重要手段，是综合国力和科技创新力的重要标志，是创新转型的利器。我国的超级计算机在气候预测、地震模拟、基因组学、材料科学等领域有着广泛的应用，对于推进科学研究、促进经济发展等方面都有着极其重要的作用。

3.2 超算的前景

在当前形势下，多样化算力成为主流。传统的 HPC 使用 CPU 进行双精度浮点计算，而新兴的超算系统则使用 CPU、GPU 及 FPGA 进行更强大的并行计算。与此同时，加大自主微处理器、加速器的研发力度和部署比例，提升多元化异构算力的算效水平，有效提高多样化混合应用的效率，也成为产业发展的大势所趋。

另外，光交换技术趋于成熟，网络全光化的趋势明显。ROCE 及数据无损技术的推出，使得超算中心内部的算力网络、存储网络和管理网络集成“三网盒子”成为可能。为解决资源的共享问题，超算中心之间的全光超算互联网概念也被提出。

传统超算主要解决算的问题，而现在数据密集化的现象开始出现。数据密集型超算以数据为中心的高性能数据分析平台，具备传统超算、大数据分析 & AI 的分析能力，其可通过应用驱动统一数据源，支持全流程的科学计算服务，在为科研及商业提供多样性算力的同时，能够基于数据知识的累积，提供高阶的数据价值服务。

参考文献

- [1] 中国“超算”发展大事记 [J]. 科学之友 (A 版),2009,(12):47.
- [2] 樊君花. 国家高性能计算机工程技术研究中心副主任曹振南: 建设超算互联网推动超算生态发展 [N]. 中国计算机报, 2023-11-06 (005).
- [3] 维基百科.[History of supercomputing](#).2024.3
- [4] TOP500.www.top500.org.2024