"天河二号"是国防科大承担完成 的国家863计划和"核高基"国家科技 重大专项项目,2013年11月在国家 超算广州中心投入运行,向国内外用 户开放使用。目前,"天河二号"已构 建起材料科学与工程计算、生物计算 与个性化医疗、全数字设计与装备制 造、能源及相关技术数字化设计、地球 科学与环境工程计算、智慧城市与大 数据处理等六大应用服务平台,先后 在基因分析与测序、大型飞机和高速 列车设计、生物医药、电子政务及智慧 城市等方面发挥了重要作用,取得了 显著的经济效益和社会效益。

在2014年11月20日召开的世界 超级计算机大会上,"天河二号"在国 际TOP500组织首次正式发布的超级计 算机高性能共轭梯度(HPCG)基准测试 排行榜上,位居世界第一。此前,由该 组织发布的第四十四届世界超级计算 机500强排行榜中,"天河二号"再次位 居榜首,获得世界超算"四连冠"。近 日,《经济日报》记者采访了"天河二 号"研究团队相关人员、国家超算天津 中心负责人,以探寻国之重器"天河二 号"背后的故事。



四捧冠军奖杯,对于中国超算团 队而言, 无疑是一件令人欢欣鼓舞的 大喜事, 然而对其他老牌超算强国来 说,他们的心里像打翻了调味瓶,五 味杂陈。强手"叫板"也随之而来, 就在这次世界超级计算机500强榜单 发布前夕,排位第二的美国公布了 "珊瑚"计划,表示将投资3.25亿美元 建造两台超级计算机, 其运算速度有 可能达到"天河二号"的3到5倍。

久,在'天河一号'夺冠之前,美日 之间的'第一之争'早已存在。"天河 高性能计算机系统副总设计师朱小谦 说。中国计算机学会高性能计算专业 委员会秘书长张云泉告诉记者,"美日 特别在意其超算是否世界第一,一旦 失去'第一'称号,都会迫不及待地 夺回来。"实际情况也的确如此,"天 河一号"在2010年底首次夺冠后,遭 遇福岛核事故的日本仍然紧急拨款加 快其超级计算机"京"的研制,用半 年时间登上了冠军宝座, 随后美国的 "红杉"和"泰坦"又先后抢得世界第



# "在超算领域,国际竞争由来已

## 超算之巅的角逐

"你方唱罢,我登场",冠军的宝 座常常不等捂热,就被新的竞争对手 夺去。人们不禁要问,如此激烈的竞 争到底是为了什么?

回答这个问题还得从超级计算机 能做什么说起。记者日前来到国家超 算天津中心采访,这里运行着我国首 台千万亿次超级计算机——"天河一 号"。投运近5年来,"天河一号"以 其超强的计算能力、精准的计算结果 赢得了众多用户的青睐。目前中心每 天运营的计算任务超过1000个、提供 计算服务机时140万小时、服务用户 数已超过600家。"'天河一号'的魅 力,通俗讲是能算天、算地、算人。" 国家超算天津中心主任刘光明说。

算天:"大气科学和地球流体力 学数值模拟国家重点实验室"的研 究员利用"天河一号"完成了跨越 千年气候变化模拟, 并利用自主开 发的气候模式向联合国气候变化大 会提交了IPCC报告。国家超算天津 中心研究员孟祥飞说,"自从中国科 学家用'天河一号'建立了气候变 化模型,中国不仅拿出了自己的气 候影响依据,而且建立的模型还成 为国际公认的模型标准,为中国在 这一领域赢得了话语权。"

算地:基于"天河一号"开展的 高性能石油勘探数据处理软件开发与 应用,解决了我国石油勘探领域自主 应用软件的大规模数据处理能力问 题,使我国大连片、高密度石油勘探 地震数据处理能力提升50倍以上,达 到世界领先水平。

算人:分析人类基因,解读生命 奥秘,如今都离不开大数据的计算和 处理。中科院、军事医学科学院、北 京生命科学研究所等单位利用"天河 一号"开展了抗击癫痫、艾滋病、癌 症等领域研究,取得了一批具有国际 先进水平的成果。

"'天河一号'不仅为科学研 究、科技创新提供了一个更高的支 点, 更是给产业发展提供了一条更快 更好的跑道。"刘光明说。正是有了 "天河一号"的支撑,我国部分产业领 域的核心竞争力正在构建。

无论是模拟气候变化,还是演示 地震海啸; 无论是设计航空航天飞行 器,还是研制国产新型发动机;或者 是基因测序、高速列车设计制造,超 级计算机都能够完成分析、计算和处 理。"超级计算机就像能够预知未来的 水晶球,一切都可以在计算机上进行 模拟。"美国田纳西大学计算机学教授 杰克·唐加拉说,"超级计算机越快, 计算结果越精确, 意味着工程师能设 计出更好的产品,大到飞机和轮船, 小到药品和服装面料。"



### 从"银河"到"天河"

"高性能计算机是名副其实的'国之 重器', 其研制与应用水平不仅代表国家 的科技发展水平, 更是国家在创新创造 和经济建设中塑造核心竞争力的关键武 器。"国家863计划高性能计算机及其核 心软件重大专项总体组组长钱德沛如是

正因为如此,我国超级计算机的研发 一开始就遭到了国外的严密封锁。

有两件事虽然过去很多年,却总是被 "天河人"提起-

改革开放前,我国由于没有国际先进 水平的高性能计算机,勘探的石油矿藏数 据和资料不得不用飞机送到国外去处理, 不仅费用昂贵,而且受制于人;国内一家 单位想进口一台运算速度每秒400万次 的计算机,外方居然提出:要为这台机器 建一个安全"玻璃房子",中方人员上机操 作,必须在外方监控下进行,不得开展合 同以外的研究。

往事历历在目,始终激励"天河 人"奋勇拼搏,向世界超算的"珠穆朗

"中国要搞四个现代化,不能没有巨 型计算机!"1978年,邓小平同志高瞻远 瞩,把研制巨型计算机的任务交给国防 科技大学。国防科大的一大批科技人员, 瞄准世界先进巨型机技术奋力攻关,仅用 5年时间就研制出我国第一台被誉为"争 气机"的亿次巨型计算机。1983年11 月,"银河"亿次巨型计算机展现在世人面 前,实现了我国巨型机零的突破。此后, 他们又相继研制出"银河"系列巨型机,将 我国超级计算技术一步步推向国际前沿。

跨入新世纪,"天河人"吹响了攀登世 界科技高峰的集结号——早日研制出我 国的千万亿次超级计算机系统。"巨型计 算机的发展规律是每10年性能提高 1000倍。2000年的国际先进水平是1 万亿次,到2010年肯定会达到千万亿次 级。要占领制高点,必须尽快开始研制千 万亿次计算机。"当时的"天河一号"总设 计师、现任国防科大校长杨学军说。

这一步是不是跨得太大? 不少人有 疑问,但国家战略不容等待。

重担又压在"天河人"的肩上。血液 里流淌着"银河精神"的"天河人"再一次 迎难而上。回忆起当时的情景,职业生涯 与中国超级计算机发展史几乎"同龄",曾 参与我国银河—Ⅱ、银河—Ⅲ研制的刘光 明感慨地说,"确实非常不容易。"

每一项技术的背后,都是超常的付 出:仅仅为了将网络互连软件的性能参数 调整到适应硬件的最佳状态,在3个月 里,"天河人"进行了上亿次测试实验。他 们几乎是每天工作十几个小时,全年仅春 节期间休息3天。而对这一切,作为"天 河二号"主机系统主任设计师的蒋句平认 为再平常不过。当记者请他讲讲过去攻 坚克难的故事,蒋句平却一时语塞,想不 起来。"亿万星辰汇银河,世人难知有几 多。神机妙算巧安排,笑向繁星任高歌。" 也许只有凌晨三四点还依旧灯火通明的 "天河楼"能告诉我们这一切。

付出的汗水有了收获。2010年11 月,"天河一号"问鼎世界第一;两年半后, 2013年6月,"天河二号"摘取世界冠军, 峰值计算速度也从每秒4.7千万亿次跃 升到每秒5.49亿亿次,实现由千万亿次 级到亿亿次级的跨越。

从"银河"到"天河",从"天河一号"到 "天河二号","天河创新"团队为了完成国 家使命,以超前的眼光逐梦"超算"世界, 交出了一份份精彩答卷。

蒋句平告诉记者,目前"天河"团队的 平均年龄不到40岁。曾经参与"天河一 号"研制的年轻技术人员,如今已成长为 "天河二号"研制的骨干力量,一代代"天 河人"接力前行,成为支撑我国未来高性 能计算的脊梁。

### 独辟蹊径求突破

中国超级计算机的发展无疑给世 界带来了无数惊叹。

3年多时间里,两次研发出全球速 度最快的超级计算机;短短十几年里拥 有超级计算机的数量,从零跃居世界第 二;最近10年,中国超级计算机性能提 升了5000倍,而同期美国超级计算机 性能只提升了500倍……

是什么造就了中国超级计算机的 跨越式发展?钱德沛说,银河、天河系 列之所以取得如此骄人的业绩,得益于 一系列重大技术的自主创新,也清楚地 表明了中国科技实力的巨大进步。

超级计算机是集成数以万计CPU 的庞然大物。按传统的方法,提高超 级计算机的运算速度可以是增加处理 器数量,也可以是增加CPU核数。蒋 句平告诉记者,"传统的方法难以为 继,增加CPU数主要受到功耗、占地 面积、系统可靠性方面的限制。"据介 绍,按传统方法构建一台每秒百亿亿 次超级计算机,需要占地1.3万平方 米,将近两个足球场那么大;需要用 电320兆瓦,相当于一个大中型城市 的用电量。

很显然,按照传统方案根本行不 通,首先必须解决机器规模增长带来的 一系列烦恼与挑战:如何降低功耗,节 省能源?怎么提高密度,节省机房空 间?如何突破内存和网络I/O的瓶颈, 补足系统的短板?如何优化并行软件 的开发,提高效率,保证数据一致性?

再难也要上,时任"天河一号" 总设计师杨学军决定带领他的团队, 在世界上率先采用 CPU+GPU 异构融 6体系结构,利用 GPU 加速通用应用 程序运行。几年来,这种结构因其低 能耗、低成本、高集成度等优点,逐 渐成了国际主流

在"天河"团队的全体努力下, 类似的自主创新成果一个接一个。如 今,"天河二号"的多项自主关键技术 令世界瞩目:"新型异构多态体系结 构"大幅度提高了系统的计算速度; 高速互连系统性能是当前国际商用互 连系统的两倍,综合化能耗控制机制 实现了国际先进的能效比; 自主研制 出当前国内主频最高的新一代高性能 通用"飞腾—1500" CPU, 有力支撑 了高吞吐率和高安全的信息服务类应 用; 高密度、高精度组装结构使得系 统的占地面积与"天河一号"相当、 性能却提升了11.6倍……

"可以说,如今中国超算系统的整 体研制能力已处于国际前列,体系结 构等部分技术已领先国际水平。"朱小 谦说。从局部突破到综合技术领先,从 奋力追赶到逐步超越,世界超级计算机 的发展史上已留下"中国创造"的深深

因为有了一系列自主创新成果,中 国的超级计算机科研工作者在世界同 行中赢得尊重。刘光明至今仍清楚地 记得,过去要参观国外超算公司、参加 国外超算学术会议非常困难。即使有 幸参加,中方人员的行程都会被跟踪, 看了什么,问了什么,都会被记录上 报。如今,主动邀请代替了百般拒绝, 热情相拥代替了冷淡对待。欧盟第七 框架科研计划与"天河一号"合作项目 顾问、德国于利希超级计算中心教授 BerndMohr表示,中国在超级计算机 领域经验丰富,欧盟希望通过这一合 作,对未来高性能计算发展规划提供指 导和参考。

"当然,我国超算领域也有短板。" 钱德沛告诉记者,最大短板在于应用, 方面与国际先进水平还有很大差 距,希望国家把超级计算机作为关系国 尽长远发展的重大基础设施建设持续 支持,让超级计算机这一"国之重器"更 好地发挥作用

# 中国超级计算机大事记

2013年6月,国际TOP500组织公布了最新全 球超级计算机500强排行榜榜单,中国国防科学技 术大学研制的"天河二号"以每秒33.86千万亿次的 浮点运算速度,成为全球最快的超级计算机。此次 是继"天河一号"之后,中国超级计算机再次夺冠。

2010年11月,国际TOP500组织发布了最新全 球超级计算机前500强排行榜,中国的"天河一号" 二期系统以每秒4700万亿次的峰值速度和每秒 2566万亿次的Linpack实测性能,位居世界第一。

2009年10月,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1206万亿次的 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。

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。

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。

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3840亿 次,在国家气象中心投入使用。

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大规模 集成电路的通用微处理器芯片和标准UNIX操作系 统设计开发的并行计算机。

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

1983年,中国第一台被命名为"银河"的亿 次巨型电子计算机在国防科技大学诞生。中国成为 继美、日等国之后,能够独立设计和制造巨型机的 国家。

(本报记者 刘松柏整理)



### 每秒5.49亿亿次

"天河二号"系统峰值性能为每秒5.49亿亿次, 持续性能为每秒33.86千万亿次。"天河二号"的系统 存储总容量相当于600亿册每册10万字的图书。假 设每人每秒钟进行一次运算,"天河二号"运算一小 时,相当于13亿人同时用计算器算上1000年。

### 250 多家用户

目前,"天河二号"已先后为250多家用户提供 计算服务。截至今年10月,"天河二号"云服务应用 初见成效,共有云平台用户20余家,为用户提供了 高安全等级资源服务。今后,还将依托"天河二号", 为各类教育管理系统提供所需计算和存储资源。



"天河二号"不仅能完成"国字号"大工程,还可 以辅助小企业、帮助普通人实现自己的梦想,这台 "高大上"的计算机是经济实用型的,有需要的普通 人也有机会体验一把超算的感觉。

### —国家超级计算广州中心主任袁学锋

超算中心的进驻与老百姓生活也有很大关系。 比如,超级计算机可以大大提高天气预报的准确 率。在娱乐产业中也能大展身手,电影《阿凡达》中, 超过三分之二的人物与景象都是通过超级计算机 "计算"出来的。

一国防科技大学计算机学院副院长、"天河二 号"工程副总指挥李楠

(本报记者 周明阳整理)



更多行进中 国精彩故事 系列报道请 扫二维码

本版编辑 董磊 美编 夏一 吴迪 题字 朱磊