

曙光高性能计算机的创新历程与启示

付向核

(中国科学院研究生院人文学院, 北京 100049)

摘要: 把国家战略需求和产业化发展结合起来, 是我国高技术产业化的重要方向。曙光高性能计算机的创新模式为此提供了示范。本文分析了曙光高性能计算机的创新路径, 讨论了其创新历程中的数次关键选择, 阐述了曙光高性能计算机的产业化发展及成就。本文认为, 曙光的特点在于把国家战略目标与产业化目标结合起来, 在不断提高满足国家战略需求的技术能力的同时, 也有效形成了产业化格局。曙光模式之所以能够有效实现这种结合, 主要得益于其在项目立项、创新路径和制度安排这些关键选择上的成功。

关键词: 曙光; 高性能计算机; 创新; 产业化

中图分类号: G301

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2009)03-0282-10

高性能计算机是世界各国竞相争夺的战略制高点, 高性能计算机的发展水平是衡量一个国家综合国力和国际竞争力的重要指标。经过近二十年的科研攻关, 我国在高性能计算机的研制中取得丰硕成果, 形成了以中科院计算所国家智能计算机研究开发中心和曙光公司牵头研制的“曙光”系列巨型计算机、以国防科技大学计算机学院牵头研制的“银河”系列巨型计算机、以国家并行计算机工程技术研究中心牵头研制的“神威”系列巨型计算机、以中国联想公司牵头研制的“深腾”系列巨型计算机等一系列科研成果, 使我国继美国、日本之后, 成为第三个具备研制每秒 10 万亿次巨型机能力的国家^[1]。我国在高性能计算机上取得的突破, 打破了西方国家长期以来的技术封锁, 打破了国外产品长期以来对中国市场的垄断, 为我国的国防安全、科学研究、重大工程建设做出了重大贡献。在 2006 年全国科技大会上, 胡锦涛总书记列举了新中国成立以来我国取得的七大标志性科技成就: 两弹一星、载人航天、杂交水稻、陆相成油理论和应用、高性能计算机、人工合成牛

胰岛素、基因组研究^[2]。高性能计算机位列其中。

作为我国的战略需求, 高性能计算机的发展一直是在政府主导下进行的, 而政府在支持和推动高性能计算机的发展过程中, 也探索过不同的模式。其中, 曙光高性能计算机的发展模式具有独特意义, 其特点在于把国家战略目标与产业化目标结合起来, 既能够不断提高技术能力来满足国家战略需求, 也通过市场化探索有效地形成了产业化格局。曙光模式之所以能够实现这种结合, 主要得益于其在项目立项、创新路径和制度安排这些关键选择上的成功。事实上, 把国家战略需求和产业化发展结合起来, 是我国高技术产业化的重要方向, 曙光模式为此提供了示范。现有的研究文献局限于曙光成果的介绍, 对曙光案例的研究不够深入。本文希望通过曙光案例的研究与探讨, 总结科技创新及产业化的经验与教训, 以资借鉴。

1 高性能计算机作为国家战略需求

计算机分为大型机、小型机、个人计算机、巨

型机、小巨型机和工作站六类。高性能计算机(HPC)也称为巨型机,主要以计算速度(尤其是浮点运算速度)作为衡量标准。“国民经济和社会发展‘十五’规划纲要”名词解释中对高性能计算机的定义为:高性能计算机一般指信息处理能力为每秒可执行亿次以上指令的计算机。由于从1950年到2000年世界上最快的计算机的峰值性能平均每10年提高两个数量级,所以高性能计算机是一个动态概念。近年来,人们一般认为峰值速度几十亿次以上的计算机是高性能计算机。根据体系结构的不同,高性能计算机可分为大规模并行计算机、共享存储器并行计算机和向量巨型机等类型。

高性能计算机在密集计算、海量数据处理等领域不可或缺,对于保障国防安全、促进科学研究及产业发展具有直接推动作用。在国防安全方面,核武器设计、核爆炸模拟、空气动力学、反导弹武器系统、空间技术的开发等需要在高性能计算机上进行模拟;在科学研究方面,长期气候预测、高精度天气预报、海洋环流计算、空气与水污染的模拟分析、洪水与地震等灾害的预报等都需要进行海量数据处理和大规模计算;在产业发展方面,发动机设计、模具设计、生物新药设计、风洞试验仿真、石油地质勘探以及新材料研究等都离不开高端计算。正因为如此,为占领世界高性能计算机领域的制高点,夺取信息技术优势,世界各发达国家,特别是美国和日本,投入大量的人力、物力和财力,发展高性能计算机。

近二十年以来,美国从战略层面先后执行了三次计算科学大计划,巩固了其军事地位,并带动了基础科学、应用科学和工程设计水平的跃升^[3]。1991年,美国政府为了保持其计算技术在世界上的领先地位和解决重大的挑战性问题,提出了“高性能计算与通信计划”(HPCC)^[4]。HPCC

计划有三大目标:加强美国在高性能计算与网络通信领域的技术领先地位;广泛应用高性能计算与通信技术以促进美国的经济竞争力、国家安全、教育、保健和环境改善;为国家信息基础设施提供关键技术。HPCC计划由白宫的国家科学技术委员会计算、信息与通信研究开发委员会负责监督执行,有12个联邦政府机构参加计划实施,许多大学和企业参与了合作^[5]。1997年,这项计划进一步扩展为“计算、信息与通信计划”,提出了研制每秒运算千万亿次的计算机。这一计划的实施事实上已成为美国近十年来信息科技高速发展,经济快速持续增长的重要原动力。针对核禁试后核武器发展的需要,美国政府又于1996年9月提出了“加速战略计算创新计划”。美国总统信息技术顾问委员会还在1999年1月提出了21世纪的信息技术计划,支持研制并应用世界上最强大的计算机以解决关键性问题^[6]。2008年6月,美国能源部洛斯·阿拉莫斯国家实验室和IBM公司联合推出了世界上运算速度最快的计算机——Roadrunner。其运算速度超过每秒千万亿次,运算能力相当于10万台能力最强大的笔记本电脑。

日本政府历来将高性能计算机技术看作是日、美在21世纪争夺经济技术领域领先地位的关键因素,极力主张集中三倍于美国的人力、物力和财力开发、研制以大规模并行处理技术(MPP)为重点的高技术设施。日本采取政府、大学、公司联合的方式开发巨型机,从而保证有足够的财力和技术力量来持久地开展研究。1982年,日本提出研制“第五代智能计算机计划”(Prolog, Lisp专用机策略)。在万亿次高性能计算机研制方面,日本政府部门主要有“真实世界计算”(RWC)计划和JUMP计划。其中RWC计划具体由通产省负责,现有16家公司参与了该项计划,它分为两个阶段进行,历时10年,总投资约700亿日元^[7]。

东京大学、京都大学等日本18所大学的30多名研究人员在前期研究基础上,于1995年着手研制每秒万亿次运算性能的超并行计算机——JUMP-1。

在计算机工业上一直落后于美、日的欧洲,近年来在巨型机科技的发展上迅速崛起。欧洲制定了一系列 MPP 机研制计划,其中“欧洲万亿次计算机计划”的目标就是研制出 TFLOPS 级的巨型机。意大利国家核物理研究所(INFN)组织实施了代号为 PQE2000 的研究开发计划,这是意大利第一次由三个主要研究机构(CNR、Alenia 和 ENEA)与一个工业部门(INFN)共同投入人力、物力来研制开发高性能计算机系统。

俄罗斯也积极参与到高性能计算机技术竞争中来。2008 年 3 月 19 日,俄罗斯国家杜马主席和莫斯科国立大学校长共同启动了名为“SKIF”的超级计算机。SKIF 每秒能完成 60 万亿次浮点计算,是目前俄罗斯、东欧乃至独联体运算能力最强大的超级计算机,在全世界教育领域现有计算机中居第 7 位。2009 年 7 月 28 日,俄罗斯总统梅德韦杰夫在超级计算机安全理事会上提出,要促进高性能计算在俄罗斯的显著应用及发展,使俄罗斯在世界高性能计算领域占据一席之地^[8]。

印度对超级计算机的研制及应用亦十分重视。印度政府认为,超级计算机为印度提供了在计算领域与发达国家进行平等竞争的机会。为了不受制于发达国家的禁运,印度政府制定了 Param 计划。此计划具体由印度先进计算技术开发中心(C-DAC)负责执行。该计划至今已先后推出了 Param 8000、8600、9000 和 10000 系统。

全世界最权威的超级计算机 TOP500 排名榜从系统性能、技术方向、制造技术、应用领域等多方面反映了全球实用高性能计算机的最新发展。从 TOP500 排名的历年数据来看,美国、英国、法国、德国、日本是高性能计算机研发、应用的传统强国。近年来,印度、韩国都加大了对高性能计算机的支持力度,有多台系统进入

TOP500 之列。2009 年 6 月发布的超级计算机 TOP500 排名榜中有 31 个国家的机器入选。其中,美国以 291 套的成绩占据绝对领先优势,继续巩固了在高性能计算领域的霸主地位;中国高性能计算机也取得了重大突破,共计有 21 套机器入选(表 1)。

表 1 2009 年 6 月超级计算机 TOP500 排名榜(按国别分)^[9]

国家	入选套数/套	百分比/%
美国	291	58.20
英国	44	8.80
德国	30	6.00
法国	23	4.60
中国	21	4.20
日本	15	3.00
瑞典	10	2.00
加拿大	8	1.60
印度	6	1.20
西班牙	5	1.00
俄罗斯	4	0.80

我国参与高性能计算机研制是从 20 世纪 80 年代开始的。随着世界信息革命的不断深化以及中国各个科学和产业领域的发展,我国许多关键部门迫切需要高性能计算机。但是,在巴黎统筹委员会协议框架下,美国等西方国家在高性能计算机等高新技术领域对我国实行严格封锁和禁运。在 20 世纪 80 年代末 90 年代初,曾有一个“玻璃房子”事件。当时亚洲最大的数据中心即中石油 BGP 东方石油物理公司,为了在地下找油必须引进高性能计算机。美国政府同意将高性能计算机出口到中国,但是提出了苛刻的前提条件:就是这套高性能计算机仅能用于石油勘探而不能用于别的用途。高性能计算机运到中国之后,被安装在一个透明玻璃机房里面,机房钥匙由美国工程师控制,工作时的一举一动机房外面的美国工程师都一目了然,所有的运算数据美国工程师都清清楚楚。时

二战后,为遏制苏联等社会主义国家,美国和西欧一些国家(后来日本也加入了该组织)于 1949 年 11 日联合成立了多边出口控制协调委员会——“巴黎统筹委员会”(简称“巴统”),限制成员国向社会主义国家出口战略物资和高技术。其宗旨是限制成员国向社会主义国家出口战略物资和高技术。“巴统”成立之初,中国并不是管制对象,1950 年 7 月,“巴统”的贸易管制范围便扩大到中国。

任国家科委主任的宋健同志愤怒地说，玻璃房子是中国的耻辱！非但如此，1995年前，我国使用的工作站以上的高性能计算机几乎完全为外国公司的产品，特别是我国各项“金字”工程采用的服务器几乎全部依赖进口，为我国经济和社会安全留下了极大隐患。为掌握国民经济信息化的主动权，中国必须尽快发展自己的高性能计算机产业。正如邓小平同志所指出的：“中国要搞四个现代化，不能没有高性能计算机”！^[10]

2 曙光高性能计算机的发展路径

1956年，我国制订了十二年科学发展规划，其中把发展电子计算机列为国家四项紧急措施之一，我国计算机事业从此开始。当时发展计算机技术，紧迫的战略需求是为了给研制“两弹一星”提供计算能力。1958年，103机研制成功，这是我国最早研制成功的第一台基于电子管的小型数字计算机。1959年，我国第一台大型通用电子计算机104机在中科院计算所研制成功。1960年，中科院计算所研制成功我国第一台自行设计的小型通用电子计算机107机，从此我国计算机开发进入自主设计阶段。1964年，中科院计算所自主设计成功了我国第一台大型通用电子管计算机119机，运算速度每秒5万次，这是世界上速度最快的电子管计算机(当时美国已经在做晶体管)。1965年，大型通用的晶体管计算机109机研制成功，改进后的109丙机1967年投入使用并在国防部门工作了17年，有效算题时间达10万小时以上，被国防科工委誉为功勋机。进入20世纪70年代，中科院计算所等单位开始研制第三代集成电路计算机，1973年研制成功每秒100万次集成电路计算机，并运行我国自行设计的操作系统。

虽然我国的计算机研究在独立自主的状况下得到较大发展，但由于长期以来的封闭特别是由于“文革”的干扰和破坏，到20世纪80年代，我国计算机在运算速度上远远落后于国外先进水平。1983年，国防科技大学研制成功“银河1号”

巨型机，但那时的“银河1号”还不能大规模推广应用。20世纪80年代中期以后，在国家863计划专项主题的重点支持下，曙光系列高性能计算机的研制被提上日程。

2.1 第一次关键决策：从智能机转向并行机

1990年3月，在863-306主题专家组的领导下，我国组建了国家智能计算机研究开发中心(以下简称智能中心)，具体负责研制曙光高性能计算机。中国科学院计算技术研究所是智能中心的依托单位，李国杰任智能中心主任兼曙光一号机课题负责人。在决定研制曙光机的时候，对于高性能计算机的发展方向，是搞智能机还是并行机，存在着很大争论。此前国内外传统大型机大多采用集成电路设计运算控制器主板的惯性发展思路，而且当时在世界上影响很大的日本第五代智能机的研制也是沿袭这条技术路线。另一方面，并行计算机的技术发展方向虽然符合国际工业标准且应用前景比较好，但在发展初期仍然存在很大的不确定性，因此，我国863计划中计算机领域原定的研究目标是智能计算机。

考虑到以上情况，在曙光一号并行机进行研制前，包括李国杰院士、时任国家科委高新司总工冀复生、863计划智能计算机专家组汪成为等成员在内的专家组进行了充分的技术决策论证。作为项目负责人，李国杰的专业优势在智能计算机、有效搜索算法、VLSI处理器列阵等领域，他所研究的智能搜索与第五代计算机也有密切关系。但是，经过对国内外计算机发展趋势的反复调研分析，专家组认识到，计算机产业虽然发展很快，但已相当成熟，已经形成了一系列国际工业标准，脱离工业标准与计算机主流技术的所谓智能计算机(prolog机)不可能有太大的发展。在专家组的支持下，智能中心果断地否定了搞智能机的路线，改做通用机加智能应用的路线，最终选择以并行处理技术为基础的高性能计算机为主攻方向，采用商品化的微处理器的发展思路，以共享存储多处

理机为第一目标产品。

曙光一号机最终选定多处理机服务器方案主要基于以下原因：第一，与传统的小型机(VAX机)、大型机(IBM mainframe)比较，多处理机服务器在性能价格比方面有明显优势；第二，并行机技术国外也不十分成熟，没有形成一家垄断的局面，中国有可能迎头赶上；第三，多处理机关键技术是软件，技术难点的转移对我们有利；第四，一旦掌握了多处理机技术，就容易形成高性能计算机系列产品。

智能中心成立一年后形成了李国杰院士挂帅，以刚毕业的硕士博士为主的技术研发队伍。智能中心下设系统软件组、硬件组、应用组、理论组。1992年，国家通过863计划投入200万元研制“曙光一号”高性能计算机。智能中心考虑到国内购买硬件速度慢以及操作系统、部件、工具及加工条件不足等因素，决定派遣陈鸿安、樊建平等五人到美国硅谷对该机进行封闭式开发。研发人员经过11个月的奋斗，终于在1993年2月带着初步调试的几块曙光一号主板回到国内。

曙光一号并行机是我国自行研制的第一台用微处理器芯片(88100微处理器)构成的高性能计算机，在对称式体系结构、操作系统核心代码并行化和支持细粒度并行的多线程技术等方面实现了一系列技术突破。国务院研究发展中心的报告明确指出：“曙光一号研制成功的意义不亚于卫星上天”。

可以说，第一次技术决策准确地把握住了技术发展方向。曙光系列高性能计算机在总体设计时就是基于技术发展趋势和市场需求做出的明智技术决策，这是曙光的亮点也是其与众不同之处。曙光一号在设计阶段即明确了设计理念：成为产品而非仅仅是科研成果，曙光一号本身就是这次技术决策的结果。如果继续沿着863计划原定的智能计

算机方向发展，沿袭日本五代机的技术路径，就不可能诞生后来的曙光公司。由于采取了“有所为，有所不为”的方针以及与国际接轨的技术路线，投入的人力和资金也大大减少，研发时间也大为缩短。与20世纪80年代我国研制的巨型机相比，曙光一号研制周期从过去的5~6年缩短为只有1年。

继曙光一号以后，曙光1000于1995年研制成功。曙光1000的战略效应立竿见影：就在曙光1000诞生的第三天，美国便宣布解除10亿次计算机对中国的禁运。曙光1000是我国第一台实际运算速度超过每秒10亿次浮点运算(峰值速度25亿次)的并行机，对推动我国的并行计算应用发挥了重要作用。为了推广高性能计算服务，根据时任国家科委主任的宋健院士的指示，利用曙光1000在全国建立了一批国家高性能计算中心。美国亚洲技术情报中心的报告指出，中国高性能计算机研制已从落后走到非常接近西方的水平^[11]。

2.2 第二次关键决策：从超级计算机转向超级服务器

1995年以前，无论是曙光一号，还是曙光1000，“曙光”只是一个带有某种象征意义的产品名称而已，仅是中科院计算所和国家智能计算机研究开发中心的863计划科研成果的代号。为更快地让“863”项目成果转化为市场产品，在科技部、原信息产业部、中国科学院的大力推动下，以曙光一号的2000万元知识产权为基础，于1995年组建成立了曙光信息产业有限公司，简称曙光公司。从此，依托于中科院计算所的国家智能中心和曙光公司密切合作，负责曙光系列机的开发和研制。

曙光1000研制成功后，曙光的发展便面临着第二次技术路线选择：继续研制超级计算机还是转而研制超级服务器。超级计算机主要用于科学与工程计算，主要追求计算速度，容易得到学术界

来自中科院计算所提供的相关材料。

引自中国计算机报“两院院士系列访谈之三”——李国杰：计算机技术要拐弯了。<http://www.ciw.com.cn/News/coverage/2006-08-15/7459.shtml>

同行认可；而超级服务器则是更加通用的高端计算机，主要用于科学工程计算、事物处理和网络服务，分别对应于计算密集、数据密集和通讯密集型的应用。可见，二者在应用面和技术面上都存在着重大差别。

曙光 1000 大规模并行机完成时，全世界 TOP500 的高性能计算机中 90% 都是向量机和大规模并行机，机群系统在市场所占比例较小。在当时，高性能计算机的发展趋势已经表现出网络化、体系结构主流化、开放和标准化以及应用的多样化等特点，而网络化应用是高性能计算机的最重要的发展趋势。Client/Server 模式也开始进入到第二代，即服务器聚集的模式。从应用前景看，超级服务器是大势所趋。于是，智能中心根据计算机标准化和摩尔定律所展示出来的发展趋势，大胆地进行技术转向：决定不以单项指标(如计算速度)赶上世界最高水平为目标，而是将研制机群结构的超级服务器为主攻方向，大力发展机群技术，特别是还未形成工业标准的机群操作系统^[12]。

这样，继曙光 1000 之后，曙光 2000 研制成功。曙光 2000 及后续产品的应用情况充分证明了这次决策的正确性。到 1999 年底，全世界速度最快的 500 台计算机中，超级服务器已占 300 多台。今天，全世界 90% 以上的高端计算机都用于信息服务和数据处理，用于科学计算的比例不到 10%。第二次技术选择的成功，说明了创新成功的前提是研制目标应符合现实需求和技术发展趋势。

2.3 第三次关键决策：从“大而全，小而全”转向“有所为，有所不为”

曙光一号和曙光 1000 在技术上获得巨大成功，但是应用情况不够理想。其问题在于操作系统，曙光 1000 在购买的 AT&T UNIX 操作系统源程序基础上进行了修改，并成功开发了符合

POSIX 工业标准 SNIX，但操作系统的改动导致用户从国外购买的应用软件目标码不能在曙光机上运行，从而限制了曙光机的广泛应用。

并行 UNIX 操作系统曾经是曙光机的标志性成果，然而，为了曙光机的应用推广，李国杰院士决定：“为了保证成千上万种已有的商品化应用程序目标码能在曙光机上运行，节点上的 UNIX 操作系统(IBM AIX 操作系统)一行都不许改动，但在节点操作系统之上我们要开发尚未形成工业标准的机群操作系统，以实现对整个机群几百个处理机的系统管理、资源管理、作业管理和文件管理等等。”后续曙光 2000、曙光 3000 的成功都证明了这条技术路线的合理性。这次转折正式开启了曙光系列高性能计算机的研发从“大而全，小而全”向“有所为，有所不为”的转变历程，也成为曙光 2000 和曙光 3000 的显著创新之处。

2.4 第四次关键决策：从“通用”走向“专用”

曙光 3000 推出以后，机群系统已成为市场上高性能计算机的主流。然而，随着高性能计算机产业的发展，通用机群的技术门槛越来越低，而且高端机器的特点决定了用户不可能很快地更新换代。这就要求根据用户需求的广度与深度的不断升级进行必要的市场细分。如何在技术上更进一步，突破传统的通用机群系统这一瓶颈，成为曙光公司和智能中心面临的重大技术难关。从超级计算机转向超级服务器是一种必然，从“通用型”超级服务器再转向“专用型”产品同样也是一种必然。为了实现曙光机的广泛应用，曙光的研发目标开始从“通用型”超级服务器转向适合行业应用的专用服务器。

在曙光 4000A 的研制中，曙光公司和智能中心率先研制了几种网格零件，使曙光 4000A 真正成为面向网格的服务器，从而使曙光服务器又

从 2002 年开始，曙光推出超级服务器“瘦身计划”，并开启了从“通用”走向“专用”的历程。2003 年，曙光公司明确提出了“整合计算，细分应用”的高性能计算机发展策略。

迈上新台阶。曙光 4000A 与曙光 5000A 分别在 2004 年 6 月份与 2008 年 11 月份公布的全球超级计算机 TOP500 排行榜中位列全球第十。

曙光机的第三、四次技术决策全面考虑了技术开发、产品应用、产业化发展的综合因素, 为曙光机产业化发展的腾飞起到重要作用。而曙光下一代千万亿次高性能计算机“曙光 6000”将采用我国拥有自主知识产权的“龙芯”芯片。按照这一计划, 曙光 6000 将于 2010 年完成研制。

3 曙光高性能计算机的创新及产业化成就

曙光高性能计算机的创新和产业化成就主要体现在如下几个方面:

首先, 曙光高性能计算机突破了国外的技术封锁, 取得多项重大技术创新与突破, 也为中国高性能计算机产业的发展奠定了坚实基础。曙光机在中国创造了数个第一: 第一台 SMP 并行计算机、第一台 MPP 大规模并行机、第一台机群超级服务器、第一个中国服务器行业标准、第一台 10 万亿次超级计算机、第一台 64 位四路服务器、第一个实现服务器主板设计技术、第一台 64 位八路服务器。曙光 4000A 的研制实现了众多核心技术突破: 突破 10 万亿次计算、普及 64 位计算、自有高速互联网络和通信协议、可扩展机群文件系统、操作系统动态部署和轻载技术、机群操作系统核心、自有 4 路 SMP 的主板设计、提高系统效能的技术、大规模机群的管理网络、开发网络零件^[13]。曙光 4000A 在 2004 年 6 月 22 日公布的全球超级计算机 TOP500 排行榜中, 以每秒 11 万亿次的峰值速度和 80610 亿次 Linpack 计算值位列全球第十。曙光 4000A 的推出, 使中国成为继美、日之后第三个跨越了 10 万亿次计算机研发、应用的国家。2008 年 8 月, 曙光 5000A 研制成功。曙光 5000A 设计浮点运算速度峰值为每秒

230 万亿次, 是目前国内运算速度最快的高性能计算机。曙光 5000A 的推出, 使得中国高性能计算产业的水平得以大幅提升。被命名为“魔方”的曙光 5000A 在 2008 年 11 月份公布的全球高性能计算机 TOP500 排行榜中进入前十名。曙光 5000A 的研制成功标志着中国成为继美国之后第二个能自主研制超百万亿次高性能计算机的国家, 中国自主研发的超级计算机提升到了新的水平^[14]。

第二, 曙光高性能计算机紧密结合国家战略需求, 已广泛应用于科研和生产各领域, 为保障国家国防安全、提高科学技术水平和推动高性能计算机产业与国民经济发展做出了重大贡献。曙光 4000 系列超级计算机担负了“神舟五号”、“神舟六号”载人飞船从发射到回收的全过程计算任务, 在目标轨道计算、空间碎片定轨计算、控制飞船入轨、发射气象气候监测、飞船发射窗口分析等方面发挥了重要作用。曙光高性能服务器应用于基因计算测序、药物分子设计等生物医药研究领域, 在多项基因计算测序和药物研究中均获得突出成就。曙光高性能计算机应用于超级计算中心, 已成功应用于船舶设计、支线飞机设计、汽车碰撞模拟、金属催化、药物分子、地质构造与抗震性能分析、核能开发、电磁辐射、计算流体力学、材料科学等领域。2007 年, 曙光 4000L 高性能计算机助力中石油东方地球物理公司(BGP)在渤海湾滩海地区发现储量规模达 10 亿吨的大油田——冀东南堡油田。

第三, 在“发展高科技, 实现产业化”思想的指引下, 曙光机开始了产业化进程, 初步建立了完整的产业化体系, 走出了一条高技术产业化独特之路。在曙光一号和曙光 1000 产品阶段“偏重自主技术, 忽视应用”。1995—2000 年, 采取“有所为, 有所不为”、“科研成果产业化”战略, 发展重心从技术转向产业化。到 2002 年, “曙光”已经

根据笔者于 2007 年 12 月对李国杰院士的访谈材料整理。

成为“中国服务器三大品牌之一”。曙光高性能计算机连续 13 年取得国产高性能计算机市场份额第一的成绩。目前,曙光机在石油勘探领域的市场占有率已超过 70%。曙光机占有国产高性能机 70% 以上份额,并在高性能集群领域实现国产机对进口产品的超越。2006 年,曙光天津产业基地落成投产,实现了中国高性能计算机产业的历史跨越^[15]。

最后,在实现自身发展的同时,曙光高性能计算机的成功也带动了国内整个高性能计算机产业的发展和提升。曙光高性能计算机技术不仅以 6000 万元以上知识产权转移到曙光公司,为曙光公司的产品提供了有竞争力的核心技术,而且扩散到联想等骨干企业。服务器的存储器测试技术转移到联想公司,对其提高联想服务器的质量起到了一定作用。中科院计算所与朝华科技上市公司成立了联合实验室,每年投入 500 万元研究开发机群操作系统和存储服务器,为朝华科技从传统产业转向信息服务业提供了技术保证。在研制曙光安全服务器中形成的信息安全技术也已作为知识产权投入了北京市京泰网络科技有限公司。曙光在高技术研究中形成的技术积累也成了开展国际合作的基础,一些技术已辐射到海外。

总之,曙光计算机的创新和产业化成就突出,战略意义十分重大。如果没有曙光,我国许多高技术领域的发展就会仍然受制于发达国家。对此,原科技部高技术司冀复生司长曾做过中肯评价:“第一,由于曙光作为一个国产品牌,在市场上与国外厂商‘同台’竞争,改写了我国高性能计算机市场的游戏规则。在曙光参加的国际招标项目中,由于曙光公司的报价,使得国外公司纷纷调整战略,仅此一项给用户带来的利益,就大大超过了国家对曙光的资助;第二,曙光的生存发展直接影响了美国对我国的禁运遏制战略。在美国国家审计总署 1998 年对美国限制高性能计算机出口的评估报告中就把曙光机列为我国自己制造的高性能计算机。与此巧合的是当时美国对我国限制

进口的水平与曙光机当时在市场上销售的型号指标相当。”

4 经验与启示

曙光发展的 19 年也是我国科技体制改革的 19 年。作为“863”项目成果的曙光系列高性能计算机,从研究、开发到产业化也像我国的科技体制改革一样,走过了一条艰难曲折之路。经过十几年的不断探索,曙光走出了一条“发展高技术,实现产业化”的独特之路,创建了我国高新技术企业的新模式。曙光高性能计算机的研制及产业化,为政府支持下面向国家战略需求的高技术产业化之路提供了宝贵经验。同时,曙光的创新实践也可以为国家正在实施的高技术研究重大项目以及中科院研究所的机制创新与改革提供重要借鉴。从曙光十几年来的创新实践中可以得到如下经验与启示:

第一,战略高技术的发展有赖于国家战略目标与产业化目标的有效结合。

我国在发展高技术的过程中存在的问题之一是重开发、轻应用,尤其是在战略高技术立项的初始,通常只考虑到国家的战略需求以实现技术突破,而没有充分考虑后续应用和市场需求。这不但使高技术项目的研发成果大打折扣,而且对于国内相关产业的发展也没有起到应有的推动作用。曙光的创新策略成功地把国家战略目标与产业化目标结合起来,在不断提高满足国家战略需求的技术能力的同时,也成功地形成了产业化格局。在研制之前,有关人士对曙光机的技术发展和应用方向进行了充分的论证。之后,在曙光系列的研制过程中,数次关键决策都考虑到了应用需求与国家战略的结合。曙光的成功表明,战略性高技术的发展需要全面综合考虑国家战略目标、技术路线、应用需求和产业化发展方向,要充分利用自身优势在最有条件的领域率先突破,在满足国家战略需求的同时,促进高技术的产业化发展。

第二, 选择正确务实的创新路径是高技术产业创新成功的关键所在。

在自主创新领域存在一种误解, 认为集成创新不是自主创新。其实, 集成创新与自主创新是不矛盾的。自主创新不排斥开放与集成, 集成技术也可以有自主创新。自主创新也不是鼓励从头做起, 引进技术的消化吸收改进也是自主创新的组成部分。曙光走的是一条“有所为, 有所不为”、从集成创新到核心技术创新的务实之路。起初曙光计算机的研制, 如果其中需要的芯片、主板、操作系统、应用软件都要自己做, 那就很难获得发展。为此, 曙光先从集成创新做起, 节点部件和操作系统采用市场主流产品, 自己主要做机群系统以及提高整机可用性的增值部件。曙光一号的推出打破了以往被人接受的“从芯片和操作系统做起, 实现彻底自主研发”的传统模式。只是到了若干年以后, 曙光才开始自己涉及开发主板, 采取开放源码的 Linux 操作系统。事实证明, 这一务实的创新路线是正确的选择。其实, 在曙光十几年发展历程中, 曾经有过数次重大技术方向选择, 曙光基本上都做出了正确决策。曙光的创新过程说明, 在高技术领域实现自主创新, 创新的路径和方式至关重要。

第三, 研究机构与企业之间的互利共生关系是曙光创新成功的土壤。

我国长期存在的科研与产业之间的分离是制约自主创新的桎梏。曙光系列计算机在研制与产业化过程中也难免遭遇这个共性问题。智能中心和曙光公司通过十几年探索, 不断调整科研单位与企业的关系, 成功解决了两张皮问题。最初的国家智能计算机研究中心和曙光公司, 分属两个不同的利益实体, 前者为国立科研机构, 后者为高技术企业。如何打破科研与产业分离的制约, 密切两个实体的合作成为曙光产业化成功的关键因素。后来, 智能中心与曙光公司合并, 成为曙光公司的研发部。五年后的 2000 年, 智能中心又与

曙光分开, 回到计算所, 但两者保持着密切的联系。李国杰、樊建平、孙凝辉等都是曙光计算机的负责人和主要研制人员, 他们用十几年的时间做产业化的努力, 做出了很大成绩, 可是他们最终还是把产业化的任务交给了曙光公司, 与大多数科研人员一样, 都回到了中国科学院计算技术研究所和智能中心。曙光公司与智能中心合而又分的历史, 也是中科院计算所与曙光公司探索研发体制的过程。作为国立科研机构的智能中心为曙光公司提供创新的技术源头, 曙光公司在此基础上成功实施技术成果的转化, 两者通过这样的紧密合作与优势互补达到了产研平衡, 也给高技术产业化提供了有益借鉴。由此积累的高技术成果转化的模式和宝贵经验, 对其他部门或行业也具有借鉴意义。那就是, 科研单位与企业应明确各自分工, 形成互补、互动、互利的共生关系, 共同促进高技术研发和产业化发展。

总之, 近 20 年来, 曙光的发展开辟了一条“发展高技术, 实现产业化”的高技术产业发展之路, 曙光的技术创新与产业化路径, 为我国高技术产业的发展提供了一个示范。同时, 也应该注意到, 在曙光创新探索的过程中也有不足。比如, 从科技管理的角度来看, 曙光对申请专利不够重视。十几年来曙光经历过数次成果鉴定验收, 一直在走国家规定的所谓成果管理之路。然而, 没有申请专利的成果得不到法律保护。如果外国公司也做出同样的技术并在中国申请了专利, 曙光的成果即使得了大奖也毫无意义, 只能老老实实向人家付专利费。其实, 曙光公司有不少独创技术, 完全有能力申请大量专利。可喜的是, 现在的曙光已经意识到这类问题并正在加以改进。

致 谢

在本文的撰写中, 导师胡志强教授给予了精心指导, 王大洲教授提出了宝贵的修改意见, 特此致谢。

参考文献

- [1] 曹来发, 贾成科. 我国巨型机发展概述[J]. 内蒙古科技与经济, 2005(16): 116-117.
- [2] 胡锦涛. 坚持走中国特色自主创新道路, 为建设创新型国家而努力奋斗[EB/OL]. (2006-01-09)[2009-08-01]. <http://politics.people.com.cn/GB/1024/4011536.html>.
- [3] 钟万颢, 陆仲绩. 紧密结合工程, 实现自主 CAE 软件产业跨越式发展[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2009, 1(1): 34-38.
- [4] 兰崇远. 美国高性能计算与通信计划[J]. 全球科技经济瞭望, 1992(9): 10-11.
- [5] 宏裕闻. 美国高性能计算机发展现状[J]. 全球科技经济瞭望, 1997(6): 28-30.
- [6] 沈志宇, 刘波, 刘衡竹, 等. 高性能计算机与国防现代化[J]. 国防科技, 2001(3): 16-23.
- [7] 王广益. 美、日、欧大力开发万亿次级巨型机[J]. 计算机与信息处理标准化, 1997(1): 24-25.
- [8] Patrick Thibodeau. U. S. supercomputing lead rings sputnik-like alarm for Russia[EB/OL]. (2009-07-28) [2009-08-12]. http://www.computerworld.com/s/article/9136005/U.S._supercomputing_lead_rings_Sputnik_like_alarm_for_Russia?taxonomyId=12.
- [9] Countries share for 06/2009[EB/OL]. (2009-06-20) [2009-08-09]. <http://www.top500.org/stats/list/33/countries>.
- [10] 中国工程院. 邓小平同志在第一次全国科技大会上的讲话[EB/OL]. (2009-06-15)[2009-08-20]. <http://www.cae.cn/cn/zonghexinxi/jiniandengxiaoping/20090615/cae0acb8dc7-712f-4456-83a2-d4ed129a947c.html>.
- [11] 中华民族的科学脊梁[EB/OL]. (2001-09-26) [2009-07-28]. <http://www.jskx.org.cn/new/docview.aspx?id=453100268>.
- [12] 李国杰. 从曙光十年的发展看自主创新[EB/OL]. (2009-03-02)[2009-07-25]. <http://www.chitec.cn/cms/showDocumentAction.do?method=print&documentid=ff8080811f0217ef011fc5b7919368b6>.
- [13] 曾宇. 掌握核心技术, 走自主创新之路[J]. 信息安全, 2006(11): 13-14.
- [14] 曙光 5000[EB/OL]. [2009-07-30]. <http://www.dawning.com.cn/Product/detail.aspx?id=144>.
- [15] 关于曙光[EB/OL]. [2009-08-16]. <http://www.dawning.com.cn/Expand/AboutExpand.aspx?ExpandId=7>.

The Dawning High-performance Computer: Innovation Process and Experiences

Fu Xianghe

(School of Humanities, Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: To combine the national strategic demand and the industrial development is an important direction of high-tech industrialization in China. The development of the Dawning High-performance Computer have demonstrated such a line. It is presented that, as a result of China's reform of science and technology system, the Dawning have met the strategic needs of the nation with unceasingly enhanced technical capabilities while successfully formed a model of high-tech industrialization. Such a model resulted from several critical choices in the development process of the Dawning and some related institutional arrangements.

Key words: Dawning; high-performance computer; innovation; industrialization

□ 责任编辑：王大洲