

中国首台十亿次巨型计算机 “银河-II”研制始末

司宏伟¹ 杜秀春²

(1. 清华大学科学史系,北京 100084; 2. 国防科技大学计算机学院,长沙 410073)

摘要 1992年11月19日,中国第一台每秒运算十亿次的巨型计算机“银河-II”由国防科学技术大学研制成功,使中国成为当时世界上少数几个能发布中长期数值天气预报的国家之一,为国民经济建设做出特殊贡献。本文通过发掘“银河-II”研制单位原始档案资料和采访主要参研人员,回顾历史背景,还原研制过程,总结经验教训,阐明“银河-II”是中国特色自主创新的重大科研成果,给国内信息产业同行创新驱动发展以一定启示和参考。

关键词 巨型计算机 银河-II 研制始末

中图分类号 N092:TP3

文献标识码 A **文章编号** 1673-1441(2020)02-0127-13

中国首台十亿次巨型计算机“银河-II”(图1)由国防科学技术大学计算机系兼研究所研制成功。“银河-II”巨型机研制始于1988年3月,1992年11月通过国家鉴定。该机荣获国家科技进步一等奖,被列为1992年全国十大科技成果之首,并写入这一年的政府工作报告。时任中共中央总书记、国家主席、中央军委主席江泽民为祝贺“银河-II”成功研制题词:攻克巨型机技术,为中华民族争光。研制单位被中共中央军事委员会授予“科技攻关先锋”荣誉称号。



图1 投入使用的“银河-II”巨型计算机

目前,关于“银河-II”的研制情况,原始档案及技术资料长期没有对外开放,内部印制的《国防科学技术大学计算机系兼研究所史》中仅作了简单的介绍,公开出版的《银河颂》一书只是关于“银河-II”研制成功的新闻宣传报道集,对于“银河-II”研制历程尚缺

收稿日期:2019-11-04; 修回日期:2020-01-10

作者简介:司宏伟,1982年生,内蒙古自治区呼和浩特人,理学博士,清华大学人文学院科学史系博士后、助理研究员,研究方向为计算技术史、中国超级计算机发展史等;杜秀春,1970年生,山东嘉祥人,工程师,国防科技大学计算机学院档案管理员。

乏系统的、学术的研究。“银河-II”是中国第一台巨型计算机“银河-I”的第二个型号,“银河-I”是1978年就开始研制的,为什么过了10年之久才启动研制第二代银河巨型机?它的研制具体过程如何?又有怎样的经验教训?

本文在前人研究基础上,通过深入发掘原始档案及相关历史文献,并结合主要研制人员的访谈对照,就上述问题进行一定的考察与剖析,希望在中国超级计算机已跻身世界一流的今天,特别是在中美高端科技领域竞争异常激烈背景下,对如何实现创新驱动发展给以有益启示。

1 “银河-II”研制的历史背景

1.1 研制单位情况

“银河-II”的研制单位国防科学技术大学计算机系兼研究所,最早可以追溯到军事工程学院(“哈军工”)海军工程系电子数字计算机研制组^[1]。1958年9月,他们成功研制中国第一台军用电子管计算机(舰用数字计算机)——901机^[2];1964年7月,研制成功中国第一台全晶体管化军用通用计算机——441B机^[3];1976年12月,研制成功中国第一台百万次军用大型计算机——151机^[4]。在研制巨型(超级)计算机方面,该单位成果如下:

“银河-I”,1983年12月研制成功,成为中国第一台亿次巨型计算机^[5];

“银河-II”,1992年12月研制成功,成为中国第一台十亿次巨型计算机^[6];

“银河-III”,1997年6月研制成功,成为中国第一台超百亿次巨型计算机^[7];

银河某型,2000年6月研制成功,服务于国防军队建设;

银河某型,2006年12月研制成功,服务于国防军队建设;

“天河一号”,2009年10月研制成功,成为中国第一台千万亿次超级计算机^[8],并于2010年11月首次在世界超级计算机500强中排名第一;

“天河二号”,2013年6月研制成功,成为中国第一台万万亿次超级计算机^[9],并于2013年—2016年实现在世界超级计算机500强排行榜上“六连冠”。

60年多来,该单位研制出代表中国各个时期先进水平的巨、大、中、小型计算机系统40多种,产生了中国科学院、中国工程院院士8人,获特等国防科技成果奖1项、国家及部委级一等奖以上100多项。

1.2 研制任务由来

20世纪80年代,世界巨型计算机技术飞速发展。以当时引领世界的美国克雷(CRAY)系列巨型机为例,1983年推出CRAY X-MP双处理机并行巨型计算机,峰值速度为10亿次/秒以上;1985年宣布CRAY-2研制成功,该系统为四处理机,峰值速度35亿次/秒以上;1986年以后又相继推出八和十六处理机的并行巨型机如CRAY Y-MP8/864、CRAY Y-MP C90等,运算速度最高已接近一百亿次^[10]。

当时,由于意识形态冲突,以美国为首的西方国家长期对中国等社会主义国家采取全面遏制政策,在军事和经济方面,就是对战略物质和技术实行多边出口管制^[11]。“在巨型计算机研制上,美国一方面对中国进行先进技术严密封锁和核心器件出口禁运,卡中国脖

子,另一方面,当中国自主研发出巨型机后,就马上开放性能略高、价格略低的同类产品出口,冲击中国的市场,这叫“一卡二冲”^①。1983年“银河-I”研制成功后,美国各大计算机制造商纷纷将其亿次巨型机产品降价50%以上进入中国,企图抢占中国的巨型计算机市场。同时,对更高性能的十亿次巨型机技术严格保密,禁止出口中国。1980年代中期,中国气象部门为实现5—7天中长期天气预报,需要一台每秒运算十亿次级的高性能计算机做数值计算。国家气象局想从美国进口一台巨型计算机,美国人给我国的报价不仅比给欧洲的高10倍,而且提出很多刻薄条件,谈判了许多个回合,就是谈不下来,购机进展遥遥无期,国家气象局很是被动与无奈。

面对国际上巨型计算机的迅猛发展,中国还没有自己的十亿次巨型机,不奋起直追就会落伍,就会处处受到制约,就会被挤出世界高性能计算机研制的行列。此时,研制过“银河-I”的国防科学技术大学计算机系兼研究所决定主动请战,研制新一代巨型机,目标十亿次。1986年2月24日,该所向国防科工委上报《关于发展银河巨型计算机的建议》并在中国科学院学部委员、时任国防科工委科技委常委的慈云桂协助下,该所主要领导陈福接、周兴铭、陈立杰联名给当时的中共中央和国务院领导人写信上书,表达了希望研制中国第一台十亿次巨型计算机的强烈决心^[12](图2)。

中共中央、国务院立即明确批示,巨型机立足于国内的方针要坚决贯彻,用于中长期天气预报的每秒十亿次巨型计算机要自己研制。国家计委与国务院电子振兴办在贯彻这一方针时给予大力的支持。1986年6月30日,国防科工委给国防科学技术大学下达《关于贯彻中央领导同志批示,落实巨型机研制任务的通知》^[13],确定第一家用户为国家气象局,并破例提供了几百万预研经费。



图2 陈福接、周兴铭、陈立杰向中共中央上书的亲笔信手稿

1.3 研制合同签订

1986年8月2日,国防科学技术大学与国家气象中心签订了意向书^[14],报国家计委审查。意向书中明确,“国防科学技术大学向国家气象中心提供1台‘银河-II’巨型计算机,作为中期数值天气预报的主机,届时天气预报将由当时的1—2天延长到5—7天。主机标量速度为M-170计算机的10倍以上,向量速度为美国CRAY-1A巨型机的1.2倍以上。用气象应用题T63L15测试其综合速度,应与1980年代初欧洲大气中心用于中期数值天气预报的CRAY-1A水平相当,系统可用率应在95%以上”。国家计委根据双方的意向书和国家气象局的报告,批准“银河-II”研制纳入国家气象局北京气象中心扩建工程,并列为国家“七五”重点工程。

^① 笔者在“纪念慈云桂教授诞辰百年座谈会”上采访中国科学院院士、“银河-II”总设计师周兴铭,2017.4.14,长沙。

1987年7月,国防科工委邀请全国巨型计算机主要用户和同行专家,在北京主持召开“银河-II”巨型机方案论证会。会议确定了“银河-II”的主要研制要点如下^[15]:

(1)“银河-II”主要面向气象、石油、核能研究与航空、航天等大型科学、工程计算与大规模数据处理。

(2)加强系统软件功能,提供有交互能力、有入网功能的多处理机操作系统,发展向量化编译、多任务软件,先提供显式并发功能,而后解决隐式的多任务编译。

(3)大力加强I/O能力,建立I/O子系统,使“银河-II”磁盘子系统的速度比银河-I快10倍以上。建立“银河-I”上没有联机的磁带子系统,以适应石油地震处理的大数据量I/O的要求。

(4)与用户密切合作,支持用户建立应用系统、开发应用软件。

1988年3月12日,在国防科工委和国家气象局主持下,国防科学技术大学和国家气象局北京气象中心签订了研制“银河-II”的合同,研制正式开始。

2 “银河-II”研制的具体过程

2.1 实行双指挥线

作为国家重大项目,“银河-II”的科研工程组织管理富有特色,实行双指挥线的工作模式。1987年3月,国防科学技术大学计算机系兼研究所下发了试行两条指挥线的通知,为便于操作同时又下发了《银河-II工程设计系统和行政指挥系统工作条例》(试行)^[16]。该条例规定,“银河-II”工程师系统是由总设计师、主任设计师和主管设计师3级组成的技术指挥系统,负责“银河-II”研制中的技术工作(图3)。总设计师周兴铭(图4),副总设计师陈立杰、彭心炯;系统软件主任设计师曹琳(后为谈正信),应用软件主任设计师李晓梅,主机系统主任设计师杨晓东,外围系统主任设计师黄克勋,组装结构主任设计师苏长青,辅助设计和测试主任设计师李思昆。

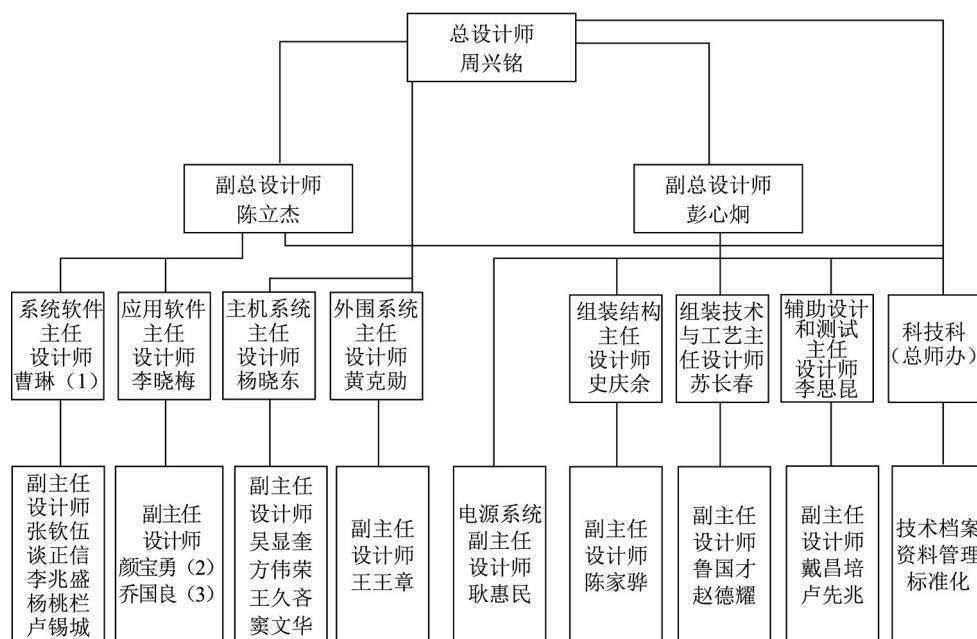
“银河-II”工程行政指挥系统是由“银河-II”工程总指挥、研究所总工程师、副总工程师和有关教研室主任、副主任组成的行政指挥系统,负责“银河-II”工程的组织指挥、计划调度、人员、经费、物资保障等工作,并组织跨部门的协调(图5)。总指挥陈福接(图6),副总指挥周兴铭、陈立杰;分项行政指挥由计算机系统教研室主任杨晓东、软件工程教研室主任李晓梅、结构工艺教研室主任苏长青、计算机辅助设计与测试教研室主任李思昆、计算机应用教研室主任黄克勋等各教研室领导担任^[17]。

2.2 确定总体方案

巨型计算机总体方案主要是确定系统执行何种设计思想、采用什么体系结构、软硬件如何实现等一整套技术问题的“总路线”,是巨型机研制的起点,也是关键技术,事关整个工程的成败。

“银河-II”项目启动时,合同确定交付一台双向量阵列、单处理机的巨型计算机系统。然而,研制团队希望紧追世界巨型计算机先进水平,进一步提升系统性能。他们在预研中已经取得了对多处理机系统及系统软件的重大突破,掌握了其科学机理与工程实现的有效途径。1988年5月,“银河-II”总师组提出了由单处理机系统改为多处理机系统

“银河-II”工程技术指挥线



注: (1) 系统软件主任设计师, 后由谈正信担任。(2) 调走。(3) 病故。

图3 “银河-II”工程技术指挥线

的体系结构方案和多处理机软件方案^[18], 并与国家气象中心、石油天然气总公司等单位进行了深入沟通, 新方案得到用户的积极支持。

1988年6月6日, 国防科工委批复了《银河-II巨型计算机研制任务书请示报告》, 审定了最终总体方案, 明确了“银河-II是面向大型科学、工程计算和大规模数据处理的通用巨型计算机, 四处理机(CPU)系统, 64位浮点运算, 速度达到每秒4亿个浮点运算结果(400MFLOPS), 即每秒10亿次以上^①。浮点运算数值范围为 10^{-2466} — 10^{2465} , 适用于从微观世界到天文数字极为广大的科学计算范围, 高精度运算, 尾数达十进制15位, 并提供双精度运算的适当手段”^[19]。

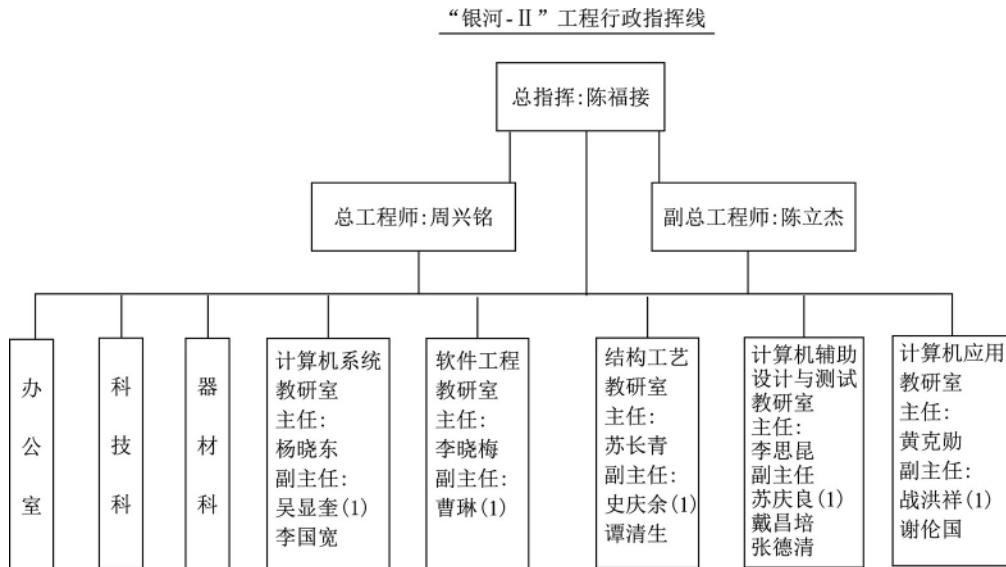
在确定“银河-II”总体方案同时, 科研人员也确立了贯穿始终的指导思想^[20]:

(1) 向上兼容。“银河-I”是在应用级上与“银河-I”向上兼容的系列机, “银河-II”体系结构继续跟踪国际上的主流CRAY巨型机。这样, 既有利于“银河-I”上开发的软件移植到“银河-II”上使用, 保护了老用户的利益, 也有利于移植、消化、吸



图4 “银河-II”总设计师
周兴铭(1938—)

^① 在标量计算机中, 通常以每秒执行多少条指令来衡量机器运算次数。一般认为, 在标量计算机中执行一次浮点运算, 需要2—5条指令, 平均需3条指令。因此, “银河-II”每秒运算4亿个浮点运算结果, 乘以系数约为3的话, 相当于每秒10亿次以上。



注: (1) 后有变动。

图5 “银河-II”工程行政指挥线

收国外先进的软件产品。

(2) 面向用户。“银河-II”的设计面向石油、气象、核技术等主要应用领域,兼顾各用户的特殊要求。设计特别强调提高用户能真正用到的全系统实际处理速度和能力。强化标量速度,强化 I/O,强化全系统的可靠性可维性。同时,软件研制要特别下功夫,优质好用。

(3) 力争先进。在现有技术条件和财力允许基础上,力争高性能、高指标。“银河-II”的实际处理能力及速度以“银河-I”的 10 倍为目标,以跟踪国际先进水平。

(4) 继承和发扬“银河-I”研制中的成功经验,克服“银河-I”研制中的不足,充分听取并吸取用户、专家的意见。

(5) 继续遵循“银河-I”成功的研制道路。充分利用对外开放对内搞活的有利条件,引进先进器件和设备,瞄准国外先进技术,研制出国外封锁禁运的高水平巨型机。在国内要发展横向联合,充分发挥社会主义制度协作互助的优越性,取长补短,发展我国的巨型机事业。

2.3 突破关键技术

“银河-II”是一个庞大的系统工程,实现的技术创新与突破有很多,根据档案整理与访谈情况,一些主要部分披露如下:

主机系统设计与逻辑设计。这是巨型机研制的“龙头”,抓好主机系统设计与逻辑设计,才能进行 CAD(计算机辅助设计)工程化,进而才能打通工艺生产线;有了主机硬件的突破性进展,才能促进软件和外围系统等方面的发展。总设计师周兴铭带领团队首先设计了四个处理机共享共存的“银河-II”系统体系结构^[21],专门设计了处理机间同步通信



图6 “银河-II”总指挥陈福接
(1935—2006)

盒,保证多处理机多任务并发运行高效同步和通讯。副总师陈立杰、彭心炯等充分利用“银河-I”电路工作基础,在噪声容许容限分配、信号传输规则、电路测试方法、老化筛选等方面进行攻关,解决了“银河-II”最基本的电路元器件问题。主机系统负责人杨晓东从系统一级进行优化设计,消除了人为造成的部件独立性,增加了插件功能密度,不仅节省了耗材、减少了开销,也使主机系统更加简洁、高效。

硬件高密度组装工艺。运算速度要达到每秒 10 亿次,系统主频必须达到 50 兆赫以上,就要提高硬件组装密度,意味着四个 CPU 的并行处理机必须组装到与“银河-I”单处理机同等大小的空间内。负责人史庆余、苏长青等把插件的集成电路由“银河-I”时的 110 块加到 330 块,印制电路板从 7 层增至 14 层,孔径从 2.54 毫米缩小到 1.27 毫米,元器件从单面插装改为双面安装,插件焊接采用当时先进的汽相焊工艺^[22]。

高性能插件印制板 CAD 软硬件系统。要硬件高密度组装,必须设计生产出采用中规模表贴集成电路芯片双面高密度组装结构的高性能印制电路板插件,技术难度和工作量非常大,像“银河-I”时依靠人工是不行了,需要有高性能插件印制板 CAD 软硬件系统进行计算机工程辅助才能完成。而此时,该系统受到美国技术封锁,设备禁运中国。项目负责人李思昆带领技术骨干自主开发,不到两年时间,不但攻克了多自动布局和多自动布线的 CAD 系统创新技术,还研发出结构逻辑模拟、延迟时间自动分析和印制板自动布线系统^[23],圆满完成了“银河-II”50 多种高性能插件印制板的工程化设计与生产任务。

操作系统。“银河-II”的系统软件全套都要自主研制,其中操作系统是核心。四处理机并行运算的新体系结构,与之匹配的操作系统也必须是全新的,技术难度很大。主任设计师谈正信与团队成员一起,在“银河-I”操作系统 YHOS 基础上构建了一个全新的多道程序、多重处理、多任务操作系统 YOS^[24],通过监督和控制以作业形式提交给系统的工作流程,有效使用系统资源;一次可以允许多达 63 道作业同时并行处理,单个作业在四处理机下最高加速比达到 3.6—3.8。

应用软件。应用软件开发,是巨型计算机连接用户的桥梁。应用软件主任设计师李晓梅带队成功突破了“银河-I”向量算法向“银河-II”并行算法的转变,建立起 60 多万行程序的自主应用软件系统,有效增强了“银河-II”单位时间信息吞吐量,不仅解决了巨型计算机应用瓶颈,而且推动了并行算法在全国广泛使用^[25]。

高速光纤网络技术。“银河-II”立项时,合同中并没有研制巨型机网络的要求,在工程进展中根据用户实际需要,系统软件副主任设计师卢锡城等人主动提出在“银河-II”中添加高速计算机网络,并得到总师组的肯定与支持。当时,高速网是指传输速率超过每秒 50 兆位的计算机网络,主要是为巨型机入网设计,属于世界前沿技术。他们大胆尝试网路技术创新,研制了符合国际 FDDI 标准的 100Mbps 高速光纤网和中速以太网接口,实现了巨型计算机网络计算^[26]。具有高速光纤网和虚拟站软件联网能力的“银河-II”,既适合于作为超级计算中心的主机,又适合于作为大规模数据处理的中心处理机,具有广泛应用领域,这是“银河-I”都不曾具备的新功能。卢锡城后来担任了下一代巨型计算机“银河-III”研制的总指挥。

2.4 通过国家鉴定

“银河-II”从合同签订到国家鉴定完毕历时 4 年 8 个月,研制各个阶段简要梳理如下

表 1 所示^[27]:

表 1 “银河-II”研制阶段及进展情况简表

时间	主要工作
1988 年 3 月	银河-II 研制合同签订,工程启动。
1988 年 7 月	确定银河-II 为多 CPU 系统的总体方案,开始开展系统设计工作。
1989 年 9 月	银河-II 主机系统逻辑设计完成。
1989 年底	银河-II 硬件设计基本结束。
1990 年 5 月初	银河-II 主机系统工程化设计完成。
1990 年 7 月	银河-II 双 CPU 单 I/O 小主存的小系统全部插件生产完成。
1990 年底	银河-II 开始主机硬件系统调试。
1991 年 2 月初	小系统在 40 兆赫主频下调试成功,标志着银河-II 硬件系统成功诞生。
1991 年 4 月	开始进行银河-II 小系统软件调试。
1992 年 5 月底	将小系统扩展为 4CPU、3200 万字大主存、2 个 I/O 处理机、主频为 50 兆赫的大系统硬件调试完毕,进入银河-II 大系统软件调试。
1992 年 8 月	银河-II 全系统软、硬件调试完毕,进入鉴定预备阶段。
1992 年 11 月	银河-II 进行国家鉴定。

1992 年 11 月 18—19 日,国防科工委在长沙主持召开了“银河-II”巨型计算机系统鉴定会。鉴定委员会一致认为^[28]:

(1) “银河-II”巨型计算机是我国自行研制的第一台面向大型科学/工程计算和大规模数据处理的 10 亿次并行巨型机,系统稳定,各项技术指标均达到或超过研制任务书规定的指标,其综合处理能力 10 倍于“银河-I”亿次巨型机,总体上达到 80 年代中后期国际先进水平,是我国科技战线的又一重大成果。

(2) “银河-II”巨型机的诞生缩小了我国和国际先进水平的差距,又一次打破了国外在巨型机技术上对我国的封锁,是我国综合国力提高的一种体现。

(3) 国防科大计算机研究所保持和发扬自力更生、艰苦奋斗、勤俭节约的优良传统,以高科研效益/投资比和较短的研制周期高质量地完成了“银河-II”巨型机的研制任务。这一成就充分说明国防科大计算机研究所是一支不断进取、勇攀高峰、能打硬仗的队伍。

(4) 高性能计算机是提高综合国力的关键技术之一,建议国家采取有力措施扶植、支持这一技术的发展。

(5) 希望国防科大计算机研究所进一步完善“银河-II”巨型计算机系统,做好应用服务工作,进一步开发新的系统软件和应用软件,为国民经济建设、国防建设和高科技发展做出更大的贡献。

成果应用方面,国防科学技术大学计算机系兼研究所与国家气象中心密切合作,移植开发中期数值天气预报谱模式 T63L16 程序^[29],在“银河-II”上运行成功,获得令人满意的结果:合同规定,1 天天气预报数值计算时间是 1100 秒,实际结果为仅需 413 秒^[30]。当时,国家气象局局长邹竟蒙高兴地说:“建立中期数值天气预报业务系统是我国气象部门

多年来梦寐以求的愿望,终于由我们自己研制的巨型计算机实现了!”([31], 页 53)

“银河-II”通过国家鉴定、宣布研制成功不到一个星期,美国就宣布同类型机器放宽出口限制。美国克雷计算机公司很快找上门来商谈合作,愿意给北京气象中心出售一台十亿次的 CRAY 巨型机,没有附加条件,价格一降再降。考虑到中长期数值天气预报事关国民经济,非常重要,国家气象局决定再购买一台美国巨型机,与“银河-II”构成“双保险”。于是,进口的 CRAY 机与国产的“银河-II”被安装在同一个机房大厅内,同时运行、互为备份,中间只隔一道玻璃墙。软件人员通过向美国机器移植业务模式数据证明,当时同在一起工作的这两台巨型机相比,“银河-II”的计算机精度和可靠性都比 CRAY 机高([31], 页 53—54)。

3 “银河-II”研制的经验教训

3.1 成功与经验

第一,立足自主创新突破核心关键技术。

西方发达国家在巨型计算机等高科技领域对我国的严密技术封锁表明,核心关键技术是买不来的,任何时候都只有依靠自主创新。“银河-II”研制时,主机最核心的 64 位中央处理器属于世界顶尖技术前沿,美国在这一方面连欧洲都严格保密,遑论中国。研制团队只能用市场上流通的中/小规模通用集成电路自己设计制作,硬是突破了巨型机高性能处理机技术,成功做出“银河-II”的 CPU。“据我们所知,‘银河-II’在相当长时间内,是中国唯一一台每秒 10 亿次的、64 位可做高性能科学与工程计算的巨型计算机,‘银河-II’的 CPU 是我国自己设计研究成功的、最早的 64 位高性能通用处理器。”^①

同时,搞自主创新并不等于保守封闭,恰恰需要站在世界前沿,利用最先进的技术思想开阔视野,增强创新能力。“银河-II”研制团队充分利用改革开放条件,追踪世界巨型机技术发展,对比借鉴国际同类先进机型,取得了一系列自主创新技术成果,例如多处理机并行体系结构、高速共享大主存、独立 I/O 子系统、系统动态容错重构、三级诊断、50MHz 高主频技术、高速大型电子系统集成式 CAD 系统、14 层埋孔大面积多层印制板、高密度双面混装技术、压接和绕接互联技术、低压大电流均衡供电、高密度大热量风冷技术、并行操作系统 YOS、OSI 网络软件、并行和向量化 FORTRON 编译系统、多任务库、并行应用软件和软件工具等,使“银河-II”在巨型计算机体系结构、硬件、软件、网络以及工程实现等各方面都上了一个新台阶,处于国内领先水平,某些技术已经达到国际先进水平。

第二,探索形成大工程科研的“银河模式”。

“银河-II”研制在继承“银河-I”成功经验的基础上大胆创新,不断探索,逐步形成了具有一流学科、人才团队、协作力量、精神激励等多方面保障的巨型机大工程科研特色模式,成为后来一代代“银河”巨型计算机和“天河”系列超级计算机成功实践的范式。

高水平学科体系是基石。“银河-II”的研制单位国防科学技术大学计算机系兼研究

^① 周兴铭院士访谈录音 2019.9.25,上海。

所同时也是国内一流的计算机专业教学单位,他们在全国高等院校中最早成立计算机系^[32],首批获得计算机科学与技术国家一级学科和计算机专业博士学位授权点,在巨型计算机发展的前沿技术、关键技术、瓶颈技术、应用技术等方面不断开展基础研究和探索。这些学科学术积累,为“银河-II”研制攻克一个个技术难题奠定了坚实基础。

顶尖人才团队做支撑。“银河-II”的研制团队主要是“银河-I”研制工程中的中年主力和涌现出来的青年骨干,“银河-II”工程总指挥陈福接和总设计师周兴铭都是原“银河-I”巨型机研制总体组成员。“银河-II”副总设计师彭心炯和组装结构主任设计师史庆余、组装技术与工艺主任设计师苏长青、辅助设计和测试主任设计师李思昆等都是原“银河-I”巨型机研制硬件组的主要成员。“银河-II”副总设计师陈立杰和系统软件主任设计师曹琳、应用软件主任设计师李晓梅、主机系统主任设计师杨晓东、外围系统主任设计师黄克勋等都是原“银河-I”巨型机研制软件组的主要成员^[33]。

联合作战成为优势。“银河-II”规模庞大,涉及面广,光靠研制单位一己之力是很难完成的,这时全国科研大协作就发挥了优势。同时,“银河-II”研制还得到了国家气象局、国家地震局、中国石油天然气总公司、中国工程物理研究院九所和十二所、中国科学院原子能所、上海航天局、西南计算中心、复旦大学、武汉大学、中国科技大学、华中理工大学、国防科工委二十一基地和系统所、解放军第二炮兵^[34]等国内兄弟单位的大力支持与帮助。

“银河精神”营造良好氛围。“银河-II”研制群体在长期的科研工程实践中,逐渐形成了一种健康向上,具有凝聚力和感召力的精神品质,涌现了一批先进典型,例如顽强拼搏为国争光的慈云桂、生命不息奋斗不止的陈福接、勇攀高峰追求卓越的周兴铭等,激励着全体参研人员不断前进。1991年12月“银河-II”研制成功前夕,研制单位召开第四次党代会,对自身这种精神风貌进行了讨论与总结,正式确定为“胸怀祖国、团结协作、志在高峰、奋勇拼搏”十六字“银河精神”^[35]。从此,银河精神成为“银河”系列巨型计算机研制团队凝聚人心、发展事业的宝贵文化财富一直传承下来。

第三,在国家科研体制改革中推进巨型机研制发展。

“银河-II”项目启动时恰逢国家科研体制改革,重大科研项目经费由“银河-I”时期的实报实销,转为项目科研经费承包制,由用户分期预支,这意味着研制新一代银河机风险很大且没有十足保障。如何在改革中谋发展、以改革促发展,考验着研制团队的勇气与智慧。

首先,“银河-II”研制告别了实报实销的时代,第一次实行了科研经费承包。1988年,由国防科工委提供几百万元人民币的预研经费和几百万美元额度,国家气象局的合同经费3千多万元人民币,后来系统由单处理机改为多处理机追加7百万元,总计4千万元人民币加几百万美元额度,这是“银河-II”从预研、研制、生产到售后保修1年,历时7—8年的总承包。而1978年“银河-I”研制启动时,经费预算2个亿采取的是实报实销,据1984年6月13日国防科学技术大学向国防科工委提交的《“银河”巨型机经费执行情况报告》,“银河-I”实际开支35264684.49元(包括引进20台磁盘机和6个盘控共计257800元)^[36],不到四千万。“银河-II”性能是“银河-I”的十倍,研制所需经费则两者相差不多。而在美国,研制一台与“银河-II”同类型的十亿次巨型机,至少需要1亿美元的经费。

其次,在没有科研设备与环境改造经费的情况下,研制团队挖尽潜力,精打细算,采取

了一系列措施:花100多万美元建立了“银河-II”的CAD系统,集成电路测试仪是用了10多年的老设备,进行了技术改造。此外,印制板导通测试仪、CPU高速逻辑双比插件测试仪、主存芯片、插件测试台、磁盘子系统模拟与高速调试系统、磁带调试系统、印制板高精度定位系统等,都是自力更生、自行研制,既高效又省钱。前端机用了自行研制和生产的银河超级小型机,许多外设、终端都是用了10多年的老设备。“银河-I”“母机”成为“银河-II”研制必不可少的工具,在“银河-I”上建立了“银河-II”模拟器和各种调试工具,用于调试各种库软件、汇编程序、操作系统、FORTRAN编译器、气象应用软件等。

最后,研制人员主动适应国家科研体制改革,不断增强市场意识,充分利用市场价格预测,掌握市场行情和采购时机,既保证了研制进度,又节约了大量经费,所购进的元器件约为原价的1/8,整个系统的性价比却比国际同类产品高得多。

3.2 不足与教训

研制单位没有及时探寻巨型计算机新的用户需求,导致“银河-II”迟迟未能立项。在“银河-I”研制成功后,国防科学技术大学计算机系兼研究所忙于研发与其技术应用密切相关的银河仿真计算机、银河超级小型机以及银河智能工具机等。由于一直没有明确发掘持续强力的新用户需求,新一代巨型机“银河-II”立项一直等待了5年!5年,这在飞速发展的计算机科学技术年代,无疑是十分残酷的消耗;而巨型机技术领先的美国,早在“银河-I”亿次机诞生的1983年就推出了世界第一台十亿次超级计算机。后来还是国家气象局要做中长期天气预报,进口更高性能的巨型机跟美国谈不下来,才有了上马“银河-II”工程的机会。鉴于这个教训,下一代“银河-III”巨型机早早开始寻求用户和启动预研工作,利用“银河-II”工程中与有关用户建立起来的合作关系,继续与潜在用户进行谈判与交流,最终确定了与新用户“捆绑式”深度合作,使百亿次大规模并行巨型计算机“银河-III”在“银河-II”研制成功后不久就顺利批准立项,启动研制。

研制单位对科研人员的人文关怀不够,致使“银河-II”研制团队一部分成员健康状况受到一定影响。由于研发中国首台巨型计算机“银河-I”成功的荣耀和追赶国际巨型机发展速度的压力,国防科学技术大学计算机系兼研究所在整个“银河-II”研制期间过于强调采取“命令式”“作战式”的做法来加快推进工程进度,开誓师大会、写请战书、立军令状、封闭攻关、任务完成倒计时等,一系列高压紧张的工作方式,对科研人员的身心健康产生了潜移默化的不利影响。“银河-II”总指挥陈福接,在参加“银河-I”研制时就患了肝炎,“银河-II”的繁重科研任务严重损耗了他的身体和精力,肝炎没有控制好反而逐步发展成了肝癌,几年后不幸病故。还有一些中青年骨干,在“银河-II”研制期间就英年早逝:乔国良 56岁;钟士熙 49岁;张树生 40岁……“有人对20世纪80年代银河团队过世人员做过统计,说九泉之下完全可以组织起另一支巨型机研制队伍!”^①后来,研制单位开始不断重视对科研人员的人文关怀问题,一方面确立了“银河精神”,减少刻板的行政命令推进科研任务,加强思想政治教育和文化激励;另一方面,实施“暖心工程”、自办食堂、大额医疗保险等服务措施,为科研人员的身心健康提供有力保障。到1994年—1997年的“银河-III”巨型计算机研制之时,就再没有参研人员直接牺牲在工作岗位上了。

^① 笔者采访国防科学技术大学计算机研究所原党委书记、政治委员刘世恩,2017.4.16,北京。

4 结论

我国首台十亿次巨型计算机“银河-II”的研制与创新,集中地反映了广大参研人员着眼国家重大战略需求,突破核心关键技术,坚持走中国特色自主创新之路的科研历程,得到了国家最高领导人的肯定。“银河-II”的诞生满足了我国尖端技术研究急需,支援了国民经济建设,突破了西方技术封锁,使我国在掌握计算机科学技术上向前跨越了一大步,积累了一整套研发更高性能计算机的经验。同时,它的成功对“银河”系列巨型计算机研制工程具有“承上启下”的关键作用,也对“神威”“曙光”“深腾”等其它系列国产超级计算机的研制产生了积极的影响,在我国计算机发展史上占据重要位置。

如今,“天河一号”“天河二号”和“神威·太湖之光”相继登顶全球超级计算机五百强排行榜第一,中国在高性能计算机研制方面经过多年追赶,已从跟跑阶段迈向领跑阶段之时,不仅该领域竞争日趋白热化,而且以美国为首的西方发达国家通过高端芯片出口禁运、打压中国高科技公司等方式开始对中国实施更加严酷的技术封锁。此时,对“银河-II”的历史背景、研制历程、经验教训等进行追溯与思考,不但可以探究我国高性能计算机系统持续领先的原因,更重要的是可以给信息产业同行,尤其是华为、中兴、浪潮等国产计算机高新技术研发单位,提供借鉴参考和有益指导。

参 考 文 献

- 1 国防科学技术大学校史编审委员会. 国防科学技术大学计算机系兼研究所史(1956—1993) [R]. 内部印制, 1994. 4.
- 2 胡守仁. 计算机技术发展史(一) [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2016. 385.
- 3 徐祖哲. 溯源中国计算机[M]. 北京: 三联书店, 2015. 336.
- 4 刘益东, 李根群. 中国计算机产业发展之研究[M]. 济南: 山东教育出版社, 2006. 114.
- 5 司宏伟, 冯立昇. 中国第一台亿次巨型计算机“银河-I”研制历程及启示[J]. 自然科学史研究, 2017, 36(4): 563.
- 6 刘世恩. 银河颂[M]. 长沙: 湖南出版社, 1996. 23.
- 7 刘世恩. 银河颂(续篇) [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1998. 10.
- 8 刘文韬, 司宏伟. 我国首台千万亿次超级计算机研制成功[N]. 湖南日报, 2009-10-29: 1.
- 9 白瑞雪, 吴建军, 司宏伟. 让“超算梦”助推“中国梦”聚焦天河二号计算机[N]. 新华社电讯, 2013-6-17.
- 10 Murray, Charles J. *The Supermen: The Story of Seymour Cray and the Technical Wizards Behind the Supercomputer* [M]. John Wiley & Sons, 1997. 47—50.
- 11 刘顺鸿. 中美高技术争端分析[D]. 成都: 西南财经大学. 2000. 45—46.
- 12 银河-II 建议报告[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2015/1.
- 13 银河-II 请示报告批复[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2009.
- 14 银河-II 合同意向书[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2006.
- 15 银河-II 北京方案审定会议[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2002/2.
- 16 银河-II 工程行政指挥线和技术指挥线[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2035.
- 17 高跃群, 郝瑞佳. 周兴铭传[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2018. 154.
- 18 银河-II 方案建议[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2011.
- 19 银河-II 方案决策[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2004.

- 20 银河-II 巨型机研制情况报告[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2034.
- 21 银河-II 主机硬件内部技术手册[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2058.
- 22 银河-II 组装工艺内部技术手册[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2081.
- 23 银河-II CAD 系统实现技术[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2044.
- 24 银河-II 操作系统内部技术手册[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2082.
- 25 银河-II 软件资料[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2025.
- 26 银河-II 高速计算机网络系统鉴定材料[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2046.
- 27 银河-II 工程简报(一、二卷)[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2024.
- 28 银河-II 国家鉴定会材料[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2167/1.
- 29 银河-II 有关气象局材料[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2178.
- 30 银河-II 用户试算报告[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2172.
- 31 国防科学技术大学计算机学院系史编审委员会. 国防科学技术大学计算机系兼研究所史(1994—1999) [R]. 内部印制, 2000.
- 32 雷勇. 慈云桂传[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2017. 111.
- 33 银河-II 管理文件[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2189.
- 34 银河-II 巨型机报奖材料[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-2183.
- 35 刘世恩. 银河精神的形成与传扬[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2009. 2—3.
- 36 银河-I 近期有关合同[Z]. 长沙: 国防科大计算机学院档案室, 档号: KTYH-1034/6.

The Development Process of “YH-2” Supercomputer in China

SI Hongwei¹ DU Xiuchun²

(1. Department of Science History, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. School of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

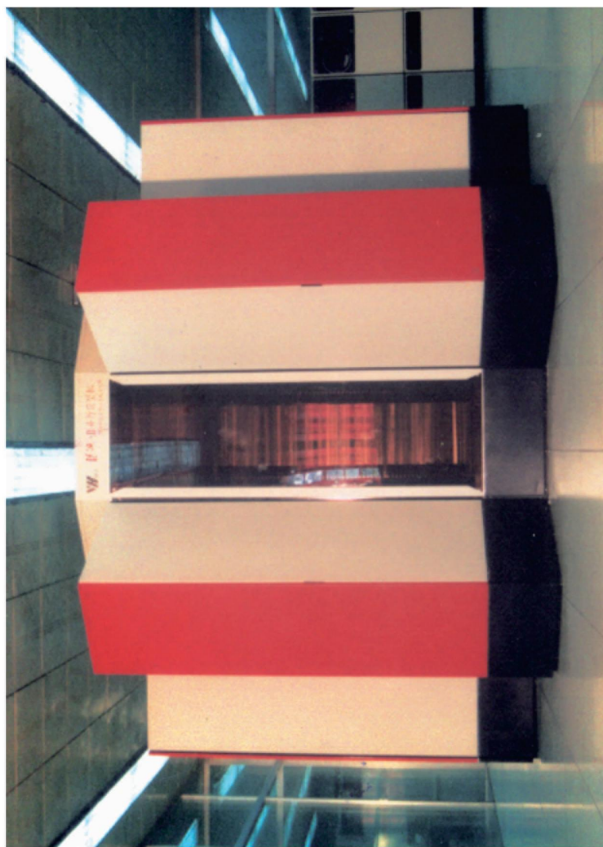
Abstract On November 19, 1992, China's first supercomputer that operated a billion times per second, “YH-2”, was successfully developed by the National University of Defense Technology, making China one of the few countries in the world that could issue medium to long-term numerical weather prediction. It had made special contributions to the construction of the national economy. With exploring the original archives of “YH-2” and interviewing the main researchers, this article reviews the historical background of “YH-2”, restores its development process, and summarizes the experience and lessons. It clarifies that the “YH-2” is a major scientific research achievement with independent innovation with Chinese characteristics. Some revelations and references can be passed on to domestic counterparts in the information industry for innovation-driven development.

Keywords supercomputer, YH-2, research process

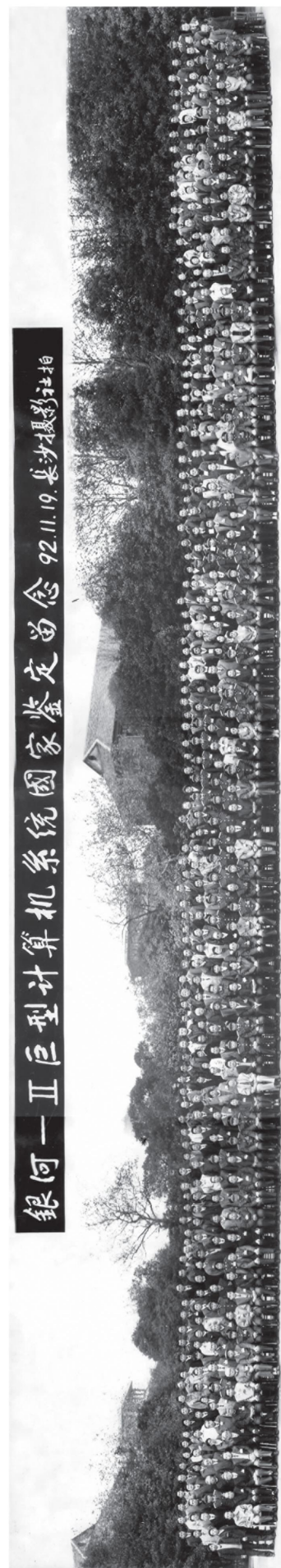
中国首台十亿次巨型计算机“银河-II”研制始末



“银河-II”研制团队成员在攻关



1992年11月，参加国家鉴定前的“银河-II”巨型计算机



1992年11月19日，“银河-II”巨型计算机系统国家鉴定会全体人员合影