

后“中兴事件”时代的科学研究模式转型

刘宇航

中国科学院计算技术研究所

关键词：芯片 自主核心技术 发源性品质 模式转型

引言

随着全国上下步入后“中兴事件”时代，从国家层面、科研机构到科研工作者都需要给出具体详细的对策和举措，最好能够纳入国家治理体系、各机构实体政策体系和科研工作者个人职业生涯规划，实现我国后“中兴事件”时代的科学研究模式转型，最终提高核心技术的自主研发能力。

芯片设计在目标上似乎比较简单，就是PPA（Performance-Power-Area，性能—功耗—面积）三者的权衡折中，但在实践中具有较高的工程性和技巧性，时钟、电源等核心模块的模拟电路工程师往往需要数十年的从业经验积累才能胜任，导致人才培养周期长、从业入门门槛高。同时，芯片的研发周期长，从初步规划确定基本指标，到设计模型、调参、电路图、版图以及仿真，再到流片测试，直至最终量产，需要较长的周期。这些特点与很多互联网公司从业人员只需要基本的编程知识和较少的经验甚至不需要计算机专业出身、产品开发周期短（比如微信的开发周期只有几个月）形成了鲜明对比。

正是具有上述难度，在全球分工合作的背景下，芯片自主设计的迫切性长期以来在一定程度上被忽视或争论，没有得到应有的共识性的充分重视。虽然没有一个国家拥有100%完整的自主可控产业链，但我们仍然需要掌握核心的关键技术，减少对外依

存度，避免出现类似的“中兴事件”而受制于人。

重视是根本，人才是关键

孟子说“入则无法家拂士，出则无敌国外患者，国恒亡”。只有重视才会去想办法，有了人才才能干事业。

从重视的角度看，美国对我国禁“芯”不完全是坏事，客观上是对我们的警醒。在“中兴事件”之前，2017年我国芯片的进口额为2601.4亿美元，已经超过了石油，成为最大宗进口商品。这次“中兴事件”让我们更加清醒地认识到芯片等核心技术不可受制于人。往往来自外部的压力可以平息内部很多争论，但是压力来自外部，导致我们现在的思考和对策大多是被动的，令人痛苦和窘迫，因此我们要汲取教训，从国家内部主动做一些事情，让被动少一些，这就要求决策有前瞻性、基础性、原创性，要以足够的定力打足够的提前量。

国产龙芯处理器总设计师胡伟武研究员多次强调“时间”和“试错”对核心技术研发的重要性。从2001年至今，龙芯处理器已有17年的研制历史，研发队伍在摸爬滚打中前进，不断突破，但仍然感觉时间不够用。相比英特尔（Intel）处理器1968年以来50年的研制历史，龙芯的技术积累时间只有英特尔的34%。由于后发，要实现追赶、并跑和超

越,就要付出极大的努力。国产计算机的研制从20世纪50年代初开始,起步并不算太晚,后续几十年中取得一系列进展。比如1953年吴几康研制了宽带放大器,使微弱信号达到逻辑运算的电平,成功实现了存储功能,夏培肃完成了运算器和控制器的设计^[13]。再如1981年夏培肃院士研制出用于石油勘探的阵列处理器,发表了我国第一篇ISCA论文^[1],今天的加速器设计仍然沿用类似的模式。这些设计是宝贵的,但都没有大规模商用化,技术传承出现过中断,没有一个像英特尔公司那样的机制使技术一脉相承,也没有通过市场扩大应用范围,以获取资本再激励更大力度的研发。结果导致商用、通用处理器芯片起跑相对较晚,没有足够的时间、资本、人力去“试错”,使得马太效应上演,强者愈强,弱者愈弱^[2]。这给我们的一个教训是,没有足够的定力和足够的提前量,就没有耐心也没有时间去“试错”,就缺乏核心技术积累,就陷入了只能做一些“短平快”的事情的恶性循环。无论是对国家整体还是对科技工作者个人,都不应陷入这种恶性循环。

从人才的角度看,投身芯片体系结构设计和制造核心技术的人才,就是新时代“法家拂士”的重要组成部分。国家要重点培养、鼓励、支持这些短缺人才。我国计算机教育在程序设计等上层方面是比较成功的,但对计算机体系结构等底层方面的重视力度和实际效果都有待提高。计算机体系结构、集成电路设计、操作系统软件等最好在学科体系中占据更重要的位置,培养大纲需要修订,培养质量需要提升。很多计算机专业的毕业生不能深入理解计算机体系结构,社会对计算机专业人员的认知也较多地停留在“程序员”或者“码农”(coding farmer)的肤浅层次上。

相当一部分计算机研究人员感觉“计算机体系结构已经比较成熟,现在和以后主要的工作是应用了”。这种认识有合理性,也有片面性,需要分析。造成这种认识的背景是:超标量、多级缓存等技术已经比较成熟,处理器频率比较稳定(2017年单核处理器的性能仅比上一年提升了3%)。这种认识的合理性是强调了应用的重要性;片面性是忽视了登

纳德(Dennard)缩放定律^[3]和摩尔定律^[4]已经接近失效,体系结构创新将成为提升性能、降低能耗、增强安全性的主要途径。

应用创新与体系结构创新,虽然在一定程度上和一定范围内可以独立发展,但今后更应该协同发展。今年6月在美国洛杉矶召开的国际计算机体系结构顶级会议ISCA'2018上,Alphabet公司董事长、斯坦福大学前校长约翰·轩尼诗(John Hennessy)与谷歌TPU团队、加州大学伯克利分校教授大卫·帕特森(David Patterson)的图灵奖获奖演讲的题目是《计算机体系结构的新黄金时代:领域专用的软硬件协同设计、增强的安全性、开放指令集及敏捷芯片开发》。国际上如此重视体系结构研究,对我国后“中兴事件”时代科学研究的模式转型具有重要的启示意义。

人才的培养,不仅是具体知识的传授,还需要在全社会营造真诚实在、扎实奋斗的教育和研究氛围以及价值取向。这不仅是科技工作者的任务,也是教育工作者的任务,是全社会的共同责任。对科技工作者来说,“科研为国分忧”要成为必选项。最近华东师范大学主持编写了《人工智能基础(高中版)》,是一个较好的起点。类似地,可以考虑编写诸如《芯片基础(幼儿园/小学/中学/大学版)》这样的教材,传授的不仅仅是一种知识,更重要的是一种意识,把“科研为国分忧”作为从娃娃抓起的爱国主义教育的一部分。从更一般的意义上来说,要重视发源性品质的培养。

培养发源性品质

所谓发源性品质,就是那些可以生发和产生别的优秀品质的基础性、源头性品质。最重要的发源性品质是要“诚其意”。《大学》中强调了“欲正其心者,先诚其意”。对科技工作者来说,所谓诚其意,就是树立全面的、崇高的、致力于真正推动科技进步的科技兴国意识,树立同仁堂“炮制虽繁必不敢省人工,品味虽贵必不敢减物力”“修合无人见,存心有天知”那样的求真自律意识,树

立“特别能吃苦、特别能战斗、特别能攻关、特别能奉献”载人航天精神那样的辛勤奋斗意识。例如中国计算机学会王选奖获得者、小米手机的创始人雷军^[5]就积极倡导同仁堂精神，不惜投入，用最好的材料，在每处细节反复雕琢，立志超越用户预期。

培养发源性品质，要树立科技兴国意识。科学技术是第一生产力。大数据、人工智能、云计算等已高度融入人类生产生活，科技的进步是增进人类幸福感的必要条件。科学研究工作是中华民族伟大复兴进程的一个重要组成部分。在新的时代条件下，科研工作者的待遇需要提高，心中也需要有报国情怀。在房价等因素的影响下，很多大学生选择专业、研究生选择工作都将薪资待遇放在第一位考虑，而不是到国家最需要的岗位去。国家要继续大力度提高科研工作者待遇，为创新者“松绑”，扫除新时期的浮躁。浮躁是熵，熵越低，自主核心技术研发能力越强。

培养发源性品质，要树立求真自律意识。科学研究是一项求真求是的事业，教育家陶行知说“千教万教教人求真，千学万学学做真人”。在现实生活中，有名利的因素，学生称导师为老板，认为自己在为导师打工，也有导师把学生当做廉价临时工，出现“唯项目”“唯论文”这样唯利是图的倾向。钱学森在他领导的导弹研制团队中倡导“严肃、严格、严谨、严密”；数学家高斯的座右铭是“宁可少些，但要成熟些”；列宁生前最后一篇公开文献的标题是“宁肯少些，但要好些”。科技工作者是一个数量庞大的群体，不能因为竞争，舍质量求数量，要有精品意识，要有求真自律的态度。

培养发源性品质，要树立辛勤奋斗意识。科技进步绝不是轻轻松松、敲锣打鼓就能实现突破的。数学家欧拉眼睛失明，家庭事务繁忙，怀里抱着孩子，还在演算；现代计算机之父冯·诺伊曼不仅在办公室工作，下班回到家还要工作，热衷社交的妻子与他分手。科学研究是一个需要投入时间的工作，科研工作者作为科技进步事业的主体，肯定需要付出艰巨、艰苦的努力。我们羡慕诺贝尔奖、图灵奖等大奖的荣耀，而忽略了获奖者背后的长期辛勤付

出。诚心诚意地做科学研究，要甘于吃苦，要有“红军不怕远征难，万水千山只等闲”的坚强意志。

加强方法和技巧指导

培养核心技术研发人才，要加强一般方法论指导。新时代，有新要求，有新实践，也有新问题。对科技工作者来说，毛主席所著《实践论》《矛盾论》既具有理论意义，又具有实践意义，胡伟武研究员在他的博士论文^[6]（获得全国百篇优秀博士学位论文）中把这两篇文章作为重要参考文献。现在认真研读过《实践论》《矛盾论》的理工科学生不多了。研究生导师在忙碌的工作间隙，不能陷入“事务主义”的羁绊之中，要把关于科研的方法条理化、系统化、理论化，帮助学生在科学研究的海洋中做一名得心应手、事半功倍的“渔夫”。古今中外也有许多介绍、总结读书和研究等方法的著作，例如1940年商务印书馆出版的《古今名人读书法》，采集了上自孔子、孟子下至蔡元培、胡适共三百余位古今名人的读书心得，列为八百余则；贝弗里奇撰写的《科学研究的艺术》，介绍了科学研究包括准备工作、进行实验、利用机遇和机会、丰富的想象力、推理、观察、遇到的困难、解决的战略和技术等各方面的内容，科技工作者可以根据核心技术研发的需要剪裁使用。如果学生拥有了最重要的发源性品质，那么就可以独自设计适用于自己的方法，这是一种定制化的思想，让学生自己对自己“因材施教”。

培养核心技术研发人才，需要提高计算机体系结构的研究水平。从作为后继人才主力的研究生方面看，现阶段很多的计算机专业硕士生甚至博士生在跟风学习一些短平快的如深度学习、Python等内容，没有认真阅读和深入理解计算机体系结构具有奠基意义的经典文献（如Mark D. Hill和Norman P. Jouppi等选编的56篇经典文献^[10]），对计算机体系结构的理解处于碎片化、肤浅化的状态，这对于他们现在的研究兴趣、研究质量和将来的职业生涯、我国芯片体系结构人才的供给都会产生影响。从国内顶尖处理器的现状看，龙芯GS464E是

龙芯公司最新推出的高性能处理器核架构^[9],增大了处理器中各项队列的项数,并增大了Cache容量和TLB容量,访存系统增加了Victim Cache,高速缓存采用LRU替换策略。对于这一款国内顶尖的拥有自主知识产权的处理器核产品,一方面应该看到,体系结构创新发挥了重要作用,另一方面应该看到,目前采纳实现的技术还是比较基本的:侧重于资源的扩张,而不是在资源不变的前提下结构的优化;对流式访存适应较好,缺少对不规则访存模式的自适应优化;高速缓存替换策略是LRU,这是计算机发展史上比较早期的一种替换策略,对于局部性低的应用适应较差(近十年来ISCA、Micro、HPCA等顶级会议提出了多种针对LRU的改进)。从正反两方面的经验看,我们都要鼓励、支持、引导学生夯实计算机体系结构的基础,提高计算机体系结构的研究水平,在保证流片成功率的前提下增加体系结构创新在芯片性能提升中的贡献率。

培养核心技术研发人才,要加强具体经验技巧指导。芯片是一个巨复杂系统,研制芯片是一项巨复杂的系统工程,很多经验和技巧从现有的教科书中很难学到。现有的教科书和学术论文比较注重科学原理,不注重工程经验和实施技巧。诺贝尔奖得主李政道回忆他的导师费米对自己言传身教的过程,强调“培养创新的科学人才,必须要有好的导师和密切的师生共同研究过程”,古代“师傅-学徒”式的培养模式值得借鉴^[11]。我国的工程师要以合适的途径经常交流、总结工程经验,包括工程师个人的经验以及工程师团队的经验,比如如何以系统思维、并行思维管理时间和团队,消除瓶颈,科学安排实验方案,周密组织研制队伍;如何坚持问题导向,围绕列表中的问题,一个问题对应一个里程碑,精心安排顺序,保持工作连贯性;如何设计测试、验证方案,最大程度地查错、纠错和容错,减少试错次数。在保护知识产权的基础上,我国的科研队伍要在经验技巧上更善于协同攻关,指令集等适度收敛聚焦,营造自主生态环境,“全国一盘棋”(获诺贝尔生理学或医学奖的屠呦呦研制的青蒿素就是协同攻关的结果)。我国的工程师队伍需要凝聚更多价

值观相近、目标集中的人,步调更一致,节省重复积累时间,提升我国整体的核心技术研发能力。

相关工作

在今年第五期《中国计算机学会通讯》(CCCF)的“主编评语”中,李国杰院士就“中兴事件”总结了三个教训^[7],CCF YOCSEF在特别论坛“生存还是死亡,面对‘禁芯’,中国高技术产业怎么办”中给出了五条建议^[8],侧重于讨论宏观政策,都非常重要。在第六期专栏文章《中兴事件的启示、反思和对策》^[12]中,方兴东从企业、产业、政府、国际关系等角度讨论了“中兴事件”的启示和对策。而本文侧重于讨论培养人才所需要的发源品质、方法和技巧。本文与这三篇文章可以相互补充,作为进一步探讨的参考和基础。

结束语

芯片是整个信息产业的基石,需要我们加强重视,重塑国民的价值观,调整和优化学科布局,注重现有人才的支持和后继人才的培养,特别是培养具有源头意义的核心品质,同时加强一般方法论及具体经验技巧指导,增加体系结构对信息产业的贡献率,实现后“中兴事件”时代的科学研究模式转型,扭转芯片受制于人的局面。 ■



刘宇航

CCF 专业会员。中国科学院计算技术研究所副研究员。主要研究方向为计算机体系结构、高性能计算、大数据、智能并发系统。liuyuhang@ict.ac.cn

参考文献

- [1] Xia P, Fang X, Wang Y, et al. An array processor for petroleum exploration[C]// *Symposium on Computer Architecture*. DBLP, 1981:349-353.
- [2] Merton, Robert K. The Matthew Effect in Science: The

- Reward and Communication System in Science[J]. *Science*. 1968, 159(3810):56-63.
- [3] Esmailzadeh H, Blem E, St. Amant R, et al. Dark silicon and the end of multicore scaling[C]// *Proceedings of the 38th annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA)*. ACM Press, 2011:365-376.
- [4] Mitchell M. More than Moore[J]. *Nature*, 2016, 530(2):145-147.
- [5] 雷军. 小米成功密码 [J]. 中国计算机学会通讯, 2014, 10(12): 21-25.
- [6] 胡伟武. 共享存储系统结构: 全国优秀博士学位论文 [D]. 高等教育出版社, 2001.
- [7] 李国杰. “中兴事件”的教训 [J]. 中国计算机学会通讯, 2018, 14(5):7.
- [8] 苗启广, 韩银和, 赵广立. “禁芯”面前, 生存还是死亡? YOCSEF 召开特别论坛密切关注“禁芯”事件 [J]. 中国计算机学会通讯, 2018, 14(5):66-67.
- [9] 吴瑞阳, 汪文祥, 王焕东, 等. 龙芯 GS464E 处理器核架构设计 [J]. 中国科学: 信息科学, 2015, 45(4):480-500.
- [10] Hill M D, Jouppi N P, Sohi G S. Readings in computer architecture[C]// *Morgan Kaufmann Publishers Inc*. 2000.
- [11] 李政道. 基础科学研究的人才培养问题 [J]. 中国科学院院刊, 2006, 21(1):1-2.
- [12] 方兴东. 中兴事件的启示、反思和对策——中国高科技全球崛起的成人礼 [J]. 中国计算机学会通讯, 2018, 14(6):36-42.
- [13] 陶建华, 刘瑞挺, 徐恪, 等. 中国计算机发展简史 [J]. 科技导报, 2016, 34(14):12-21.