

CAE: 事关国家竞争力和国家安全的战略技术

——关于发展我国 CAE 软件产业的思考*

钟万勰

陆仲绩

(大连理工大学 大连 116023) (上海科学院 上海 201203)

摘要 CAE 技术在制造业和国民经济中具有举足轻重的作用,是提高企业竞争力和保证国家安全的战略技术。CAE 软件系统可提高装备制造业的自主创新能力,其高端软件历来被国外禁运。计算机模拟将给 21 世纪工程和科学研究带来革命性变革。为保证我国自主创新能力、集成创新竞争能力和维护国家安全,本文探索了建立自主 CAE 产业的可行性,并提出了政策建议。

关键词 软件产业, 国家安全, 核心竞争力, CAE 集成



钟万勰院士

计算机辅助工程(CAE: Computer Aided Engineering)软件系统不仅是衡量国家科学计算水平的标志,而且被世界各国,特别是以美国为首的发达国家视为“事关国家竞争力和国家安全的战略技术”。

CAE 技术在制造业和国民经济各领域中具有广泛的应用,是提升企业自主创新能力和国际竞争力的关键技术。建立具有自主知识产权 CAE 软件产业,对我国正在构建的以企业为主体的国家创新体系具有十分重要的战略意义。

据统计,我国 SCI、EI 和 ISTP 论文总数的世界排位已上升到第 4 位,但年度全球竞争力却落后于印度 11 位。原因是多方面的,毋庸置疑,自主创新能力匮乏是其重要因素。软件产业是最能全面体现理论创新能力和科技成果水平的载体,只靠 SCI 论文不能解决国家竞争力低下的问题。CAE 技术对于我国从制造业大国向制造业强国转变具有重要意义,必须努力开拓以装备制造业发展需求为导向的 CAE 自主软件产业。

CAE 软件的模拟仿真分析能力不仅是企业进行创新设计的重要工具,而且也成为与理论研究和物理实验同等重要的研究手段。建立有自主知识产权的中国 CAE 软件产业,目的是要生产出能在国际市场上占有一席之地之的创新产品,我们必须站在我国经济发展创新能力和保障国家安全的战略高度来认识。

为抓住机遇应对挑战,2006 年 10 月在上海组织召开了中科院“CAE 自主创新发

* 收稿日期:2006 年 11 月 22 日

展战略”科技论坛,来自政府、科研院校和企业的代表经过交流和讨论达成共识:CAE是工业装备、产品和工程领域进行自主创新设计与精细化设计的核心技术,是提高企业核心竞争力的关键技术,是关系国家安全的战略技术。

1 发展 CAE 软件产业是工程科学的 国家战略目标

当国家自然科学基金委的报告指出“与国际计算力学软件相比,我国计算力学软件的发展规模及水平仍然有很大的差距,在整体功能与性能上还无法与国外同类产品竞争^[1]的时候,美国虽已遥遥领先,但却仍认为“目前只有很小一部分有潜力的计算科学领域被实现,影响了美国在科学和工程技术中的卓越地位”,并强调“...为使国家在今后保持竞争力的领导地位、发展计算科学是必需的^[1]。美国政府非常重视 CAE 技术的前沿研究课题,从 20 世纪 60 年代初开始在 NASA 的宇航计划中就要求利用计算机进行仿真分析,之后更是若干次将“计算机仿真与建模”列为优先发展的“服务于国家利益的关键技术”。

多年以来,我国许多关键行业都遭到了国外的技术封锁。“像在航空领域,有一些 CAE 软件,我们尚未提出买源码,而只是希望把软件买过来装在我们的曙光服务器上,与机器一起销售,外国公司都不同意,做软件代理也不行,他要垄断整个行业。我们不能对购买国外的核心技术抱有不切实际的幻想^[2]。显然,我们对问题的严重性、迫切性应有清醒的认识。

1.1 产品竞争能力的需要

CAE 技术在制造业几乎已成为所有工业领域必备的创新技术手段,是今后各企业从事技术创新的技术人员所必须掌握的基本技能。现代数值模拟仿真技术的应用,对于及时推出新产品、缩短开发周期、节约成

本、提高质量具有举足轻重的作用,是企业竞争能力持续增长的关键。美国将 CAE 系统提到“服务于国家利益的关键技术”高度的作法值得借鉴。

1.2 打破市场垄断的需求

上世纪 80 年代初,国产 CAE 软件曾得到过一定的发展,大部分设计院用的都是国产软件。后来国外软件长驱直入,采用低价倾销或免费的方式逐步占领了我国市场,将国产软件扼杀于襁褓之中。当我们失去可与之抗衡的国产 CAE 软件产品时,国外软件在中国市场的价格则升得比他们本土还高,以致我国中小企业难以承受。市场垄断在造成商品价格大大提高的同时,也从源头上抑制了国内 CAE 创新和产业形成。

国家对自主应用软件的扶植虽然没有停止过,但因重视程度不够,只是细水长流,甚至杯水车薪。还因为科研成果评价体系的偏颇,不但导致研究工作分散,未能形成自主软件产业基础结构,而且造成了大量人才外流,加剧了国外软件对中国市场的垄断。正是由于先期自主意识不够,对软件产业缺乏全局认识的高度,最终导致对国外软件的依赖,并不时受制于强国“禁运”的紧箍咒。

1.3 国家战略安全的需要

国外 CAE 软件产品中重要或敏感的模块和功能历来是对我国禁运的。面对核心技术的封锁,虽然我们有自主研发的成果,但进口商用软件无法作为进行二次开发的平台。不具备知识载体的自主软件平台,国民经济和国防现代化的研究成果难以自成体系,不能持续发展,必然浪费资源,为人作嫁,就如同分散的小作坊面对大工业流水线,岂是对手。特别是在航空航天等重要领域,长期依赖国外 CAE 商业软件平台是无法健康发展的。这种局面对经济发展极为不利,且在国家战略安全的需求上长期受制于人更是后患无穷。

2 培育 CAE 软件市场的历史经验

我国 CAE 软件的形成和应用从 70 年代即已开始,起步早且有一定规模,效果和市场反映都不错。自主开发 CAE 软件的努力从来没有停止过,也有一些拥有自主知识产权的软件系统脱颖而出:如 JIGFEX、HAJIF、紫瑞、火箭等。但由于多方面的原因,特别是受国外软件的打压,至今无一形成产业,仍处于分散经营,苦苦支撑的格局。30 多年的历程,其中的兴衰成败、酸甜苦辣,时时令人扼腕叹息。

2.1 艰难历程

上世纪七八十年代,我国所开发的较有规模的 CAE 软件数目不少,每个软件无论从理论水平还是技术能力来衡量,都是当时的佼佼者,都已具备进一步发展的基础平台。开发 CAE 软件系统不仅要有有限元技术与先进算法,还要有系统结构与标准,以及可靠性、可扩展性等的考虑;其次作为面向用户的软件必须要有用户友好的界面、图形等。然而受体制所限,各科研院所开发的软件基本上只体现各自领域的理论成果,虽可解决某些专门问题,但影响范围小;有时也可满足评价体系的要求,却难于形成集成系统;纵然在局部有先进理论与技术亮点,但仍缺乏整体竞争力。

即使是有较大推广价值的软件,因不谙市场营销、后续服务和市场宣传等,使教授们顾此失彼、应接不暇,难以“自产自销”。

软件作为单位内的项目终有完成之日,随着人员流动、项目更迭,就预示着原先所开发的软件,因缺乏可延续的平台,遭遇“自生自灭”的结果。

被体制机制所困,缺乏可持续发展的整体规划,使各家的软件开发依然呈“小作坊”模式,难以与海外“大兵团”相抗衡。

CAE 系统是软件工程,不是纯科学研究,是不能单纯用论文来表述的。

2.2 锲而不舍

艰难的发展历程,却从侧面反映了我国科技工作者不屈不挠的民族精神和卓越的聪明才智。CAE 软件的研究、开发和应用,虽经历屡战屡败、屡败屡战的沧桑,但至今永不言败,依然锲而不舍、奋力追求。

上世纪 60 年代我国数学家冯康给出了有限元法的数学证明,几乎和国外同步;但因条件所限,更由于政治运动的影响,后来逐渐与国外水平拉开了差距;

70 年代初期,由于钱令希等学者的倡导和身体力行,同期出现了一批有自主知识产权的有限元分析软件并取得业界的欢迎,呈现出良好的发展态势。航空 CAE 技术的应用,率先研制出航空结构设计分析软件系统,应用到我国在研的多种新飞机型号;

80 年代初期,通过引进、移植和改造国外的 CAE 软件,市场上出现了“百花齐放”的繁荣格局,国内自主 CAE 软件与国外产品在市场上各展所长,相映成市。在核心算法和若干本土化的功能上,国产软件比起国外软件来并不逊色;

90 年代以来,大批国外软件涌入我国市场,自主软件受到强烈打压。同时,有关管理部门在对直接为先进装备制造业服务的 CAE 软件核心技术的认识上产生了偏差:CAE 既不属于基础科学,又不属于科技攻关,故而失去了必要的支持,使其发展举步维艰。更严重的是对大学基础培养的冲击,使学生只会用进口程序来计算,变成了替人家培育推广人才。

虽然屡战屡败,但每次挫折都带来新的认识和积累。屡败屡战的经历提高了锲而不舍的战斗精神,一批 CAE 的理论成果在国内外赢得了声誉。虽然在工业装备和国防工业方面,绝大部分仍为进口 CAE 软件所控制,但国内软件却因能解决被“禁运”、“技术封锁”的关键课题,能啃下硬骨头,而顽强地

生存下来。被“禁运”，所以尤其要奋起。

2.3 强国之梦

目前我国的 CAE 软件产业架构依然未建立起来。虽有些自主 CAE 软件在特定范围得到应用，但仍属于偶发的“自在”状态，远未达到产业的规模。随着数学模型、计算方法、计算机速度等领域的进步，科学研究、国民经济和国防安全等领域的需要，特别是国家中长期科技发展的目标的需求，为 CAE 发展带来了前所未有的机遇。

必须使科技发展成为经济社会发展的有力支撑。为“实现自主创新能力的跨越式发展”使我国从制造业大国向制造业强国转变，我们必须提高 CAE 软件的自主开发能力，否则难以实现强国之梦。

建立自主 CAE 软件产业的条件首先是国家的发展，当前我国的科技发展环境已有了明显改善，如能充分发挥其在运行机制方面的优势，应比其它国家更能以“举国之力”去实施有关民族和国家整体发展的战略重点。我国科技并非无这方面的能力，事实上我国的科研成果有很多是高水平的。在这里特别应提到的是“尺有所短，寸有所长”，外国软件的系统性、市场营销等是其长处，但仍有些功能不具备或不提供，这就是“尺有所短”。对此，我国啃下了许多硬骨头课题，其中精细积分、保辛、结构拓扑优化、一次成型、刚-柔体动力学、接触问题、随机振动等方面，我们是有优势的，此即“寸有所长”。如能发挥自己的长处，我们是大有可为的。

诚然，我国 CAE 的总体水平有差距，特别是各家成果分散经营，未能集成，如此散兵游勇，即使加大投入，也是难成气候的。社会主义的优越性应更有条件实行系统集成，使之能更有组织地发展。

3 建立中国的 CAE 软件产业

3.1 学术资源和企业需求的结合

CAE 是软件工程，只能通过应用体现

其价值。国家有关部门应主导建立 CAE 软件产业中心，给予相应的政策和资金支持。相关的学术论文需要有实际工程背景和实验的支持，才能“实现关键技术和核心技术的新突破”。只有与企业需求相结合，才能将技术和成果转化为软件产品，并为国人所用。而现状是：将论文写成中文便低人一等，只有写成英文送给洋人，争取 SCI 检索，才能晋级提职。这些成果国人用反而不便。这种做法不能再继续下去了。

应用软件开发，应从实用的观点来认定其学术价值。将理论、算法转换为能解决工程实际问题的过程，是一种创造性劳动，应给予高度评价并保护其知识产权；而把计算机技术、软件工具、算法和工程知识结合在一起的综合性工作，则具有社会的广泛性、通用性和共享性。从某种意义上说，协调社会利益和个人利益，营造和完善政策及体制环境比投入资金更重要。

因此，CAE 软件产业中心应选在具有较完备先进装备制造产业链的中心城市，特别应结合战略产业，如航空航天、能源、船舶、交通、装备制造、控制、核能工业和海洋工程等，使 CAE 技术的推广应用能形成环环相扣的软件产业价值链。

3.2 自主知识和创新技术构成竞争力

有先进的理论研究和核心技术能力，有政府的大力支持还不足以构筑软件产业。只有将先进的理论研究形成的核心技术解决了用户的实际需要和难题，才能逐渐被认可。另外还要不断有理论与技术进步的支撑，对软件进行升级换代。同时用户友好、周到的服务是市场认可的基本要求，这一点也需要我们不断加强认识。

对自主知识产权的保护，是发展软件产业的重要措施。只有保护知识创造者的利益，才能站稳脚跟并持续有效地发展，分散在各地的 CAE 技术资源才有可能以知识的

形式加入,最终形成 CAE 软件集成系统。

因此,CAE 软件产业中心应能体现社会分工合作并做到“供需结合紧密,组织结构严谨”;软件开发应可依托互联网的方便、高效,形成“体系架构集中,工作位置分散”的团队;应努力建立符合市场规律的“经济利益共享,学术研究自由”的良性循环机制。

4 政策建议

目前工程模拟普遍依赖于进口商用软件,既不利于我国科技与工业竞争力的提升,也无法形成与国外的垄断相抗衡。我国 CAE 软件产业的唯一出路就是培育自主品牌并在市场上占有一席之地。这是参与国际竞争的关键,是提高国家竞争力进而保障国家安全的关键。为此,提出以下建议:

(1) 建立国家层面的 CAE 软件工程应用和研究中心。整合全国 CAE 理论、技术和软件资源,构筑理论研究软件开发、技术推广的资源共享平台;

(2) 建立满足国家战略需求、符合市场经济规律的 CAE 产业实体。走以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的自主创新之路,努力将科技成果尽快转化为市场上有竞争力的商品;

(3) 切实发挥国家“863”、“973”等科研计划及国家孵化基地的作用,整合多家自主 CAE 软件,构筑系统集成平台,适应行业规范和经验投入市场,形成有竞争力的集成系统。

主要参考文献

- 1 Computational science: Ensuring America's competitiveness. http://www.nitrd.gov/pitac/reports/20050609_computational/computational.pdf.
- 2 李国杰. 国立科研机构如何发挥骨干与引领作用. <http://www.cas.cn/html/Dir/2006/07/11/14/12/95.htm>.

CAE: Technology for National Competitive Power and National Security

Zhong Wanxie¹

Lu Zhongji²

(1 Dalian University of Technology, 116023 Dalian

2 Shanghai Academy of Science and Technology, 201203 Shanghai)

CAE technology plays an important role in the manufactory industry and national economy. It is the strategic technology to raise competitive power of enterprises and ensure national security. CAE software system can improve the independent innovation capability of the equipment manufactory industry; the top software has been always embargoed by other countries. Computer simulation will bring revolutionary change to the engineering and scientific research in the 21st century. To ensure the independent innovation capability, integrate competitive power of innovation and maintain national strategic security, the research has explored the feasibility to build up the CAE industry by our own and provide the advice for policy.

Keywords software industries, national security, kernel competitive power, CAE integrated system

钟万勰 中国科学院院士,大连理工大学教授。1934年生于上海。主要从事数学、力学及计算机科学研究,在“潜艇耐压壳强度”、“群论在结构分析中的应用”、“参变量变分原理”、“结构力学与最优化控制的模拟理论”等研究方面做出了重要贡献,并研制出大量具有先进水平的结构分析软件,曾主持多项结构工程的计算分析,如高层结构、桥梁结构等。其研究成果多次获全国科学大会奖和自然科学奖。著有《计算杆系结构力学》、《计算结构力学微机程序设计》、《数值计算方法》、《计算结构力学与最优控制》等,发表论文 200 余篇。