

钱学森与新中国的计算技术

——一个普通科研工作者视角下的钱学森

刘宇航

中国科学院计算技术研究所

引言

在中国,钱学森¹是一个家喻户晓的名字。作为“两弹一星”²元勋之一和中国航天事业奠基人,他的名字载入史册。笔者是一名在中国科学院计算技术研究所(以下简称“计算所”)工作逾十年的普通科研工作者。在工作之余的阅读与思考中,笔者注意到一个现象:对钱学森在新中国计算技术事业中的角色,普通公众的认知相对有限,计算机专业领域人员的认知也尚不充分。

1956年8月25日,计算所筹备委员会成立。以此为起点,新中国的计算技术事业迄今已有70年。厘清历史轨迹,还原历史真相,有助于把握发展规律,并为当前科技自立自强与未来创新提供历史借鉴。具体来说,以下问题值得我们结合史料进行思考:一是如何培养钱学森这样的富有战略远见的人才?在新中国计算技术发展历程的多个十字路口,钱学森发挥了哪些“举足轻重”的作用?二是如何培养钱学森这样的具有全局学术视野的人才?为什么钱学森能在自己的专业之外发挥那么大的作用?

笔者对钱老的认识也经历了一个过程:起初只

知道他是“两弹一星”元勋、导弹专家,后来接触史料,才逐渐了解他在计算技术领域的诸多贡献。叶永烈所著的《走近钱学森》^[1]一书有597页,详尽记述了钱学森在航天、导弹、空气动力学等领域的贡献,但未涉及他对计算技术事业的推动。这可能与钱学森“导弹优先”的战略决策及其“两弹一星”的成就突出有关,以至于他对计算技术事业的贡献尚未受到同等关注。

中国科学院自然科学史研究所副研究员司宏伟梳理了钱学森在20世纪50年代推动计算机事业起步的若干史实^[2]。然而,该文聚焦“初创”阶段,在三个方面还可补充:(1)钱学森1956年在《光明日报》发表的文章《从飞机、导弹谈到控制它们的电子计算机》^[3];(2)20世纪70年代钱学森推动757千万次计算机³研制的工作;(3)钱学森关于智能计算机的系统论述。

本文尝试以“计算技术考据学”^[4]为方法,通过史料梳理与逻辑论证,还原一段较少被系统关注的历程,从而帮助读者更完整地了解中国计算技术发展的内在脉络与演进逻辑。本文从以下四个方面

¹ 钱学森(1911—2009),浙江杭州人,世界著名科学家,中国导弹与航天事业的主要奠基人。1935年赴美留学,先后在麻省理工学院和加州理工学院获得硕士、博士学位。1955年冲破重重阻力归国,此后长期担任国防部第五研究院院长、副院长,第七机械工业部副部长,国防科委副主任等职。组织领导了中国导弹、运载火箭和卫星的研制与发射。1991年,国务院、中央军委授予其“国家杰出贡献科学家”荣誉称号;1999年,获“两弹一星功勋奖章”。2009年入选“100位新中国成立以来感动中国人物”榜单(这是一个反映对国家贡献和影响力的权威榜单)。

² “两弹一星”是20世纪五六十年代我国自主研制的原子弹、导弹和人造卫星的统称。一些公众将“两弹”理解为原子弹、氢弹,这是不准确的。“两弹”特指原子弹和导弹。这一战略决策基于钱学森回国后的判断:导弹无人驾驶、一次性使用,技术上比有人驾驶的飞机更容易突破,且更具战略威慑力。原子弹与导弹的关系被形象地比喻为“子弹”与“枪”——导弹是运载核弹头的“枪”,原子弹是威力巨大的“子弹”。1966年“两弹结合”试验成功,标志着中国拥有了实战核威慑能力。1967年我国第一颗氢弹试验成功后,“两弹”在广义上也常被理解为“核弹”(含原子弹和氢弹)和“导弹”。

³ “757”得名于该机正式开始研制的年份与月份。1975年7月,大型向量计算机经全国论证会通过后正式开始研制,故称“757机”。

进行介绍。

1. 分析钱学森 1956 年 10 月 8 日在《光明日报》发表的《从飞机、导弹谈到控制它们的电子计算机》^[3]一文，揭示该文作为对计算技术与国防尖端技术关系最早的系统性论述的学术价值。该文向公众阐明“导弹的脑筋是电子计算机”，并对计算机小型化与专业化方向作出判断。

2. 发掘钱学森 1957 年 12 月 20 日在《人民日报》发表的《怎样对待国家的紧急任务》^[5]一文。钱学森催促计算所早日正式成立，展现了他在机构建设关键节点上的推动作用。

3. 考察钱学森对计算所牵头的 757 千万次计算机研制^[6]的推动作用。1973 年，钱学森明确“两弹一星”任务发展急需巨型机，直接推动了 757 工程的开展。该机于 1983 年研制成功，获 1985 年国家科技进步奖一等奖。

4. 梳理钱学森关于智能计算机的系统论述及其与“863 计划”306 主题和依托计算所的国家智能计算机研究开发中心的渊源^[7,8]。钱学森不仅参与智能机战略方向的论证，还提出将 306 主题更名为“人机智能系统”，其思想影响了中国智能计算机的发展道路。

将计算技术纳入国家规划

钱学森对电子计算机重要性的认识，可以追溯到他在美国工作期间。1946 年，世界第一台电子管数字式计算机 ENIAC 在美国宾夕法尼亚大学诞生。1987 年 12 月 15 日，钱学森在“863 计划智能计算机专家组”讲话中提到：“美国第一台电子计算机是 20 世纪 40 年代搞出来的，当时我也去看了。”^{[7]117}当时，钱学森作为美国陆军航空队科学咨询委员会的成员，前往包括安装有 ENIAC 的马里兰州阿伯丁武器试验场在内的多个美军基地考察。他不仅从保密渠道了解计算机的最新进展，也从公开文献中持续追踪——1945 至 1955 年间，《Science》杂志发表了 14 篇关于电子计算机研制的论文。钱学森意识到，电子计算机

将对科学研究和国防建设产生深远影响^[2]。

1955 年回国后，钱学森将这一认识带入国家规划工作。1956 年，在周恩来总理直接领导下，国家制定《1956—1967 年科学技术发展远景规划》（简称“十二年科技规划”）。钱学森被任命为科学规划综合组⁴组长，负责协调数十个学科专业组的工作。在规划讨论过程中，电子计算机是否应该列入国家科技发展战略，一度颇具争议。不少人对计算机代替人的脑力劳动持怀疑态度，认为其发展前景不明朗。钱学森据理力争，举出大量实例说明发展电子计算机的重要性。

何祚庥院士说^[9]：“1955 年～1956 年，在周恩来总理的提议和直接领导下，曾经制定过一个 1956 年～1967 年科学技术发展的远景规划。这是全世界第一个国家规模的发展科学技术的长期规划。它对我国科学和技术的发展起了很大的影响，使我国科学事业走上了生机勃勃的局面。

“这一规划所涉及的科学领域广泛，收到了很多来自科技界的建议。怎样从这浩如烟海，头绪纷繁的多种多样的建议里面理出一个纲？这样的任务便交给了当时由 12 位科学家组成的综合组，负责评价、裁决、选择、推荐，确定并综合各方面的建议，最终决策。当时，由海外归来、学识渊博的钱学森担任综合组的组长。有幸的是，当时我曾参与做一些文字整理工作，前后达半年之久，得聆学森同志许多教诲，并目睹了怎样从科学技术的海洋中理出一个《纲要》。

“发展科学技术 12 年规划的主要成就除制定了 56 项重大研究任务以外，最重要的是确定了 4 项（又称为 6 项，其中包括当时未公开的两项国防任务）紧急措施，即原子能、导弹、电子计算机、半导体、无线电学和自动化技术。为什么会挑选出这 6 个项目？钱学森在其中可以说起了举足轻重的作用。

“从现在的眼界来看，这 6 个项目确是科技发展全局的关键点或生长点。但是在当时却并不那么显然，而且还有不少争议。电子计算机也是当时有争

⁴ 小组共 12 人，成员有钱伟长、黄昆、罗沛霖、王大珩、马大猷等。

议的一个项目，电子计算机是那时代划时代的发明。已知美国的电子计算机每秒能运算 8000 次。这比起手摇电动机算起来真是飞跃式的进步。但是，有关电子计算机的发展前景却并不那么明朗。快速计算机在推进科学技术上的作用，也远不像现在人们看得那么清楚。为此，钱学森举出许多实例来说明推进快速电子计算机的重要性。他还介绍了电脑的记忆功能、逻辑功能，甚至学习功能等等，表明这是极有发展前景的领域。于是，这一重大项目的决策就此确定下来了。”

在钱学森等人的推动下，“计算技术的建立”被列入科学规划 57 项重要科学任务之一。随后，他又参与确定了“四项紧急措施”——计算技术、半导体技术、无线电电子学、自动学和远距离操纵技术。时任规划委员会秘书长张劲夫⁵在规划完成后，趁着参加规划的科学家尚未离开北京，组织专门的小组研究国务院应该重点抓哪些领域。张劲夫后来回忆说^[10]：“在规划完成后又提出四项紧急措施，包括落实这些措施，学森同志也是立了大功的。”

1956 年 8 月 25 日，经时任国务院副总理陈毅批准，计算所筹备委员会正式成立。中国计算机事业由此起步。根据“十二年科技规划”，开始了我国计算机事业的创建工作。

1956 年 10 月 8 日，就在“十二年科技规划”制定期间，钱学森在《光明日报》上发表了题为《从飞机、导弹谈到控制它们的电子计算机》的文章^[3]。在收藏爱好者的帮助下，笔者研读了这篇文章的报纸原件。文章中，钱学森系统阐述了导弹制导与控制的基本原理，明确指出：“导弹的脑筋是电子计算机，它是整个控制中心环节。”他还进一步强调，“仅能制造通用计算机还不能解决导弹问题，必须再进一步制造出超小型的专业计算机。”这篇文章不仅向社会大众普及了电子计算机在国防尖端技术

中的核心作用，也体现了钱学森将计算机技术与导弹、航天事业紧密结合的战略思考。

关于导弹的控制问题，钱学森在文章中指出：“导弹的主要问题是怎样才打得准确。”要解决这个问题，“首先是使导弹长上眼睛能自己找目标，也就是利用目标的特点来找目标。”“有眼睛的导弹弹头，正像人的目力一样是有限度的，也不可能从太远的地方来寻找目标，”因此“要把这导弹先引到目标的附近，然后才利用它的弹头来自动找目标”。而“用雷达测定飞机或导弹的位置，同时还要作快速计算，才能及时作出适当的控制决定。”——这正是电子计算机的用武之地。

关于电子计算机本身，钱学森在文章中用通俗易懂的语言作了介绍：“人们一般用十进位计算。而电子计算机用的是开关，或开或关只有两个可能性，并没有十个可能性，所以电子计算机用的是二进位。”他进一步解释了数字式计算机与模拟式计算机的区别：“电子的数字计算机是现在最快而又很准确的计算机。另外还有一种电子计算机是模拟式的，它不靠数字的运算，它的原理是利用一定电路系统和所要计算现象之间的相似性，也就是拿电的系统来模拟自然现象。”他还特别强调了计算机小型化对于导弹应用的关键意义：“要把电子计算机装在导弹里面，作为弹身内控制系统的一部分，那么首先必须把它‘专业化’……但只是专业化还不够，还要小型化和超小型化，竭力缩小它的体积，从相当于桌子的大小缩到盒子的大小。”

1957 年，钱学森作为中国科学院数理化学部委员，主持草拟完成《数理化学部研究工作大纲（草稿）》，其中第五项明确指出：“大力开展计算机技术的研究。以仿制苏联设计的计算机为基础，组织有关部门配合研制出电子计算机迫切需要的半导体管、超小型化电子器件等，以便在第二个五年计划能结

⁵ 张劲夫（1914—2015），安徽肥东人，中国科技事业的重要组织者和领导者。1956 年任国务院科学规划委员会秘书长，协助周恩来总理组织制定《十二年科技规划》，任期内与钱学森等科学家共同归纳提出发展计算技术、半导体、自动化、无线电电子学等“四项紧急措施”，对中国计算机事业的起步起到关键推动作用。此后历任中国科学院副院长（党组书记）、国务委员等职，为新中国科技发展规划与组织实施作出了重要贡献。

合中国的原材料，自行设计制作出超高速的通用数字电子计算机。”^[2]

1957年2月，钱学森在《科学通报》发表《论技术科学》一文，进一步阐述他对计算技术应用前景的判断。他以国民经济规划为例指出：“精确化了的政治经济学就能把国民经济的规划做得更好、更正确，能使一切规划工作变成一个有系统的计算过程，那么就可以用电子计算机来帮助经济规划工作，所以能把规划所需的时间大大地缩短。”^[11]这一论述表明，钱学森对计算机的重视不只限于国防尖端技术，关注视野也延伸至国民经济规划的现代化。

值得一提的是，以导弹专家著称的钱学森曾公开推动计算所的正式成立。1957年12月20日，钱学森以《怎样对待国家的紧急任务》为题在《人民日报》撰写文章^[5]，指出：“中国科学院自动化及远距离控制研究所和计算技术研究所的筹备工作是中国科学院1957年的紧急任务，原来计划1957年内正式成立两所。但是，现在1957年快完了，而两所还未成立，连所长的人选也无消息。这是对待国家紧急任务应有的态度吗？”这篇公开文章表明，钱学森对计算技术事业的推动，不只着眼于宏观层面的战略擘画，也贯穿对机构设置与建设进度的后续跟进与督促。

作为计算所的一员，笔者在梳理这些史料时，深感钱学森对中国计算技术事业的推动并非偶然的、零散的，而是贯穿他从战略规划到工程应用的系统思考之中。

推动国产计算机研制和应用

钱学森支持国产计算机研制。1957年11月，

国产电子计算机研制工作启动，最初任务是仿制苏联M-3型计算机。根据“四项紧急措施”有关要求，研制工作采用“先集中，后分散”的方式。张梓昌⁶回忆说：“按‘先集中后分散’的原则集中一批在相近专业有一定工作经验的科技人员到计算所协作开创计算机事业。除了计算所本身的老同志外，还有主要来自二机部十局（后来的四机部）、总参、国防五院（后来的七机部）的科技人员以及其他单位的少量人员。”^[12]为了支持我国首台计算机研制，钱学森担任院长的国防部五院派出张梓昌、李祖熙、曲礼慧等8名计算机技术人员支援计算所，并指定张梓昌参加仿制M-3机任务，担任工程组副组长^[12]。

1958年8月1日，中国第一台电子管计算机——103机（又名“八一”机）研制成功。1959年12月，张梓昌等人被调回国防部五院二分院继续从事计算机研究，后来成立706研究所⁷。此后，706所在将计算机应用于导弹和航天事业中作出了重要贡献。

钱学森不仅关注计算机的研制，也关注计算机在实际工程中的应用。他强调计算机必须服务国防尖端技术的需要。1959年6月，钱学森担任所长的中国科学院力学研究所邀请苏联科学院计算中心主任多罗特尼钦院士作报告。报告的简要记录发表于1959年10月的《力学学报》，编者按指出：“……这篇报告指出了空气动力学发展中的一个新趋势，即计算技术的广泛应用……”^[13]。同年10月1日，我国宣布首台大型通用数字计算机——104机研制成功，我国第一颗原子弹研制中的相关科学计算就在这台计算机上进行^[14]。

1960年11月，中国第一枚近程导弹发射成功后，钱学森提出：“火箭里面还要有小型计算机，叫弹上

⁶ 张梓昌（1921—2013），江苏崇明人，中国计算机工程技术专家。1944年毕业于交通大学电机系，1952年进入通信兵部电子科学研究院工作。1957年作为骨干被派往计算所，参加中国第一台电子管计算机（103机）的研制工作，担任工程组副组长，在技术基础薄弱的条件下实现了中国计算机事业从无到有的突破。1963年授中校军衔，1965年出任第七机械工业部第二研究院706所首任所长。张梓昌是中国计算机事业早期发展的核心参与者，在仿制苏联M-3计算机、推动导弹与航天领域计算机应用等方面作出了重要贡献。

⁷ 706研究所（中国航天科工集团第二研究院七〇六所）始建于1957年12月，前身为国防部第五研究院二分院电子计算机研究室。作为我国最早从事计算机研究的骨干研究所之一，该所长期承担导弹、卫星等航天型号的数值计算与信息系统研制任务，参与了103机、104机等早期国产计算机的研发，现为国防领域计算机与控制技术的核心研究所。

微型计算机,用来控制那一节火箭什么时候脱离开来。要研制小型的计算机……建立起计算机研究基地,导弹里面的小计算机由科学院研制。”^[15]计算所牵头于1964年4月成功研制我国第一台自行设计的大型通用数字电子管计算机119机^[16],1965年6月成功研制我国第一台通用晶体管数字计算机109乙机^[17],1967年9月成功研制109丙机(同月聂荣臻副总理、中国科学院院长郭沫若到计算所参观该机),这些计算机在原子弹、氢弹研制等国防尖端工程中发挥了重要作用,被誉为“功勋计算机”^[18]。1966年8月,计算所牵头研制出我国第一台自行设计的用于空间技术方面的156计算机,得到周总理的表扬^[19]。

1968年2月,国防科委⁸全面接管人造地球卫星研究工作,成立空间技术研究院,钱学森兼任院长。哈军工研制的441-B晶体管计算机等一批国产电子计算机承担了卫星发射的重要支持与保障工作。每次发射试验任务前,钱学森都亲临发射现场指导。在1969年11月16日的一次导弹试验中,导弹起飞后突然失踪。钱学森立即询问“计算机方面有什么发现”。负责导弹落点预示的电子十五所技术人员将108-乙机⁹的输出数据通过平板绘图仪绘制成导弹落点预示轨迹,据此汇报了飞行体落点的经纬度和离发射场的距离,钱学森肯定了这个意见。搜寻部队在预报地点很快发现目标,成功回收弹头^[20]。

钱学森在《从飞机、导弹谈到控制它们的电子计算机》一文中,对导弹控制系统的论述为这些工程实践提供了理论指引^[3]。对于洲际武器,他指出:“现在的洲际武器控制系统就不能用电波控制,而用天文系统控制。导弹上带着天象台、自动记忆系统,某时观测太阳在何方,经过计算机的记忆和计算系统,查对出自己所在的正确位置,然后通过自动控制系统的活动,校正飞行方向。”这些论述说明了计算机在导弹控制中的核心地位。

进入20世纪70年代,随着“两弹一星”工程的深入和后续航天任务的推进,中国对高性能计算机的需求日益迫切。

高庆狮说^[6]:“中国科学院计算技术研究所自1956年成立¹⁰以来,研制成的多种型号的大型计算机,例如:中国第一台自行设计的大型通用电子管计算机——119机,中国第一台自行设计的大型晶体管计算机——109(乙)机和被誉为‘两弹一星功勋计算机’的109(丙)机,都是为‘两弹一星’服务的,为促进高科技发展,做出了重大贡献。在‘文革期’间,中国科学院计算所、半导体所、109厂¹¹等一些新技术单位划归过国防科委。

“1973年3月,国防科委主任¹²,世界著名的科学家钱学森召见中国科学院计算技术研究所所长阎沛霖布置工作,阎沛霖所长带科技处副处长苏学

⁸“国防科委”是国防科学技术委员会的简称;1982年国防科委与国防工办等合并组建国防科学技术工业委员会(简称“国防科工委”)。1973年高庆狮回忆中所称“国防科委”即前者。

⁹108-乙机是由华北计算技术研究所(现为中国电子科技集团公司第十五研究所)于20世纪60年代中后期研制的晶体管计算机,属于我国第一代自主设计的晶体管计算机系列机型。该机采用国产晶体管和磁芯存储器,运算速度达到每秒数万次,在当时处于国内领先水平。108-乙机以稳定可靠著称,主要承担国防科研领域的科学计算与数据处理任务。

¹⁰这里“成立”是指筹备委员会成立,不是正式成立。——作者注

¹¹109厂全称中国科学院109厂,1958年8月为研制“两弹一星”专用109计算机而成立,是我国第一个半导体器件生产厂,初隶中国科学院应用物理所,后曾隶属半导体研究所等。该厂先后为109乙机提供锗晶体管,为109丙机生产硅平面型晶体管,并为156机、013机、757机等研制生产专用集成电路,被誉为“两弹一星功勋计算机”的重要器件支撑单位。1986年,109厂与中国科学院半导体所、计算所有关微电子学研究部门合并,成立中国科学院微电子中心,2003年更名为中国科学院微电子研究所。

¹²这里“主任”系出于尊敬的口头称呼,实际职务为副主任。钱学森为集中精力突破导弹技术核心难题、减少行政事务牵绊,于1960年主动辞去国防部第五研究院院长职务,经中央批准后改任副院长。1970年至1982年,他担任国防科学技术委员会副主任。——作者注

智和我同去接受任务。

“钱学森主任谈到国际上发达国家在百万次以上的计算机方面对我国实行封锁、禁运。由于研制‘两弹一星’的需要，要求我们迅速研制亿次以上的巨型机。国内当时规划指标是用10兆主频的电路研制200万次的计算机和用20兆主频的电路研制500万次的计算机。钱学森主任要求研究一下，可否在20兆主频的电路基础上研制亿次巨型机。

“美国在70年代初研制成功两种峰值速度为3000万次到近亿次的巨型机：阵列巨型机ILLIAC-IV和流水线向量机STAR-100。在当时硬件技术的条件下，国际公认为阵列巨型机ILLIAC-IV不太成功，不仅难以使用，而且其规模过大。如果按照它的方案研制，不仅难于使用，而且其可靠性难以保证，也难于正常运行。STAR-100和ASC虽然比较成功，但是也不适合当时我国国情，因为亿次巨型机对存储系统的存储能力的要求是每秒存取3亿次，而我国当时可能研制出的磁心存储器每秒只能存取一百万次左右¹³，远不能满足系统的要求，而且也不可能可靠工作。

“1973年5月，即两个月后，阎沛霖所长带我向钱学森主任作了肯定性的汇报：用20兆的电路可以研制亿次级巨型机。钱老非常高兴，并进一步指出，为满足当时研制火箭和各种飞行器的计算流体力学的计算需求，必须有每秒一万亿次的巨型机。钱老提出了一个时间表：70年代完成千万次向量机757和亿次巨型机、80年代完成十亿和百亿巨型机、90年代完成千亿和一万亿次巨型机。后来钱老要求计算所回归科学院之后，还要继续承担从亿次到万亿次的巨型机研究、设计和研制任务（计算所归科学院时，国防科委与科学院正式签订了一个协议，国防科委

委托科学院计算所研制千万次向量机（757）和亿次巨型机）。

“之后，我们每两个星期就到国防科委直接向钱老汇报一次，汇报亿次巨型机的具体方案——纵横加工向量巨型机方案、亿次巨型机的模型机（即千万次的757大型向量机）具体方案、向量语言以及十亿次、百亿次巨型机方案——虚共存细胞结构纵横加工向量机方案等。

“1975年大型向量计算机757（以下简称757向量计算机）经全国论证会通过正式上马。757机的本质特点是‘纵横加工向量原理’。1976年美国公布了被誉为第二代巨型机代表的Cray巨型机方案。Cray机的特征是‘分段处理向量’，与我们提出的‘纵横加工向量’完全一样。1979年1月我们在《计算机学报》上发表了十亿次、百亿次巨型机方案——虚共存细胞结构纵横加工向量机的原理，这是国际上第一个提出‘虚共存’概念的论文。该文被澳大利亚《计算机通讯》全文翻译转载及给予好评。英国曼彻斯特大学，世界著名的KILBURN教授（国际20世纪有关计算机十大发明之一‘一级存储器’，即当今的‘虚拟存储器’的发明人）和计算中心主任BLACK教授联合署名写了一封热情的信。美国华盛顿大学计算机科学系主任BEAR教授等人认为比起美国杂志上介绍的文章毫不逊色。日本人工智能学会主席，日本大阪大学田中心机教授为首的四位教授访华团也给予很高的评价。”

计算所是该项重大任务的牵头负责单位¹⁴，757机从我国当时的技术条件出发，元器件和设备立足国内设计研制。经过计算所和中国科学院内外30多个部门及地区的80多个单位的共同努力¹⁶，1983年11月，757机研制成功并通过国家鉴定，

¹³ 此句说明存储器性能在20世纪70年代已成为制约计算机系统性能的关键因素。这一现象后来由Wulf和McKee于1995年正式命名为“memory wall”（存储墙），该问题至今仍是计算机系统结构领域的核心问题之一。参见Wulf W A, McKee S A. Hitting the Memory Wall: Implications of the Obvious[J]. *ACM SIGARCH Computer Architecture News*, 1995, 23(1): 20-24.

¹⁴ 757工程千万次计算机战总指挥、时任计算所副所长王正，在病逝前一天（1980年12月31日）仍向副总指挥询问757机的进展情况（见<https://baike.baidu.com/item/%E7%8E%8B%E6%AD%A3/4376288>）。

交付二机部九院（现中国工程物理研究院）使用^[21]。1985 年，757 机荣获国家科技进步奖一等奖。

倡导智能计算机研究

进入 20 世纪 80 年代，年逾古稀的钱学森虽然逐渐退出国防科研一线，但仍持续关注计算技术的发展。他关注到智能计算机这一方向。

1983 年 7 月 2 日，钱学森说：“情报资料、图书、文献和档案的存储库是一个投资项目，不可能谁人都有，必须设于中心地点；电子计算机也是一个投资项目，也只能放在中心地点。而终端又必须在使用者身旁才方便，这就要有从终端到电子计算机、到中心库的通信线路。通信线路把终端、电子计算机和存储库组成一个体系，这个体系就是情报资料、图书、文献和档案的自动化体系。”^{[7]131}从今天看，得益于互联网、移动互联网、云计算、边缘计算、大语言模型等技术，钱老的这些设想已基本实现。

1984 年 8 月 3 日，在“国防科工委第五代计算机专家讨论会”上，钱学森指出：“现在的巨型机已打破了冯·诺依曼的格局，引入了并行计算。但是，如何充分运用它，还有问题。也就是说，我们还不太会使用这种运算结构，计算机的潜力尚未得到充分发挥。”^{[7]101}这是强调开发计算机应用的重要性。钱老还提到线延迟和体系结构的重要性：“我们要认识到：现在的电子计算机的发展比之于在 50 年代电子计算机的发展有一个很大的不同……就是在以前是元件很贵，而导线是便宜的。现在呢？反过来了，元件很便宜，而‘导线’是贵的了…因为导线长了以后，运算的速度就上不去了……”^{[7]94}“……机器的结构，几何布局是非常重要的。”^{[7]95}他指出核心问题：“做智能机最主要的核心问题，还是怎么样把上面说的这些部件（专家系统和知识库等）跟计算机的逻辑推理运算结合起来，成为一个完整的体系。”^{[7]101}他明确了未来的任务：“……中华人民

共和国在 80 年代展望 2000 年，21 世纪，一定要攻下人工智能、第五代计算机的关，我们的做法要有中国特色……”^{[7]109}从现在的视角看，钱老在 42 年前指出的很多问题（如机器潜力发挥不充分的问题、线延迟长的问题）至今仍然存在，他的观点或建议仍有参考价值。

1985 年 5 月 26 日，在全国第五代计算机学术研讨会开幕式上，钱学森作了题为“我国智能机的发展战略问题”的主旨报告。他指出：“对于目前国外关于智能机的研制情况，如果我们冷静地加以分析的话，我不得不说，情况并不很健康，是一哄而起，热闹有余，扎实不够。”^{[7]104}

1987 年 12 月 15 日，钱学森出席“863”计划智能计算机专家组会议，发表了题为“智能机技术是当今我国的尖端技术”的讲话。他从人工智能、脑科学、认知心理学、哲学、文学诗词语言、科学方法学、社会思维学、模糊数学、并行计算、数理逻辑和系统学等 11 个方面，系统分析了智能计算机的科学技术基础。最后他强调：“智能机是当前科学技术领域的一个大仗、硬仗……全国要组织起来，大兵团作战，不能分散，不能各自为政。”^{[7]117-118}

钱学森将“极度并行”视为智能机的核心技术方向。他明确指出，研究并行运算的重要性在于“……因为人的神经网络就是并行的，不仅高度并行，而且是极度并行的”^{[7]118}。他认为智能思维过程是一个“并联的、多层次的、多途径的网络”^{[7]119}，而传统计算机的串行架构无法模拟人脑功能，必须构建极度并行的计算体系。他还指出，当代巨型机“已打破了冯·诺依曼的格局，引入了并行运算”^{[7]91}，智能机的突破更须以此为基础，将并行运算与系统论、模糊数学等结合，才能实现从模糊搜索到清晰创造的思维模拟。

1989 年 8 月 7 日，钱学森在致汪成为¹⁵的信中说：“总之，高度并行、极度并行结合智能机研究，先搞一阶半思维系统的机器是越来越清楚了。然后

¹⁵ “863 计划”启动后，汪成为院士被选为智能计算机专家组组长。当时日本“第五代计算机”计划影响很大，国内相当多的人主张学习日本。汪成为多次就如何研制中国特色的智能计算机请教钱学森^[22]。

再搞人机对话，逐步上升到高层次的思维系统，达到高级的智能机。道路清晰在望了！”^{[7]234}

“863计划”306主题的设立为智能计算机研究提供了顶层规划，而将其落实到具体研发实体的关键一步，则是国家智能计算机研究开发中心的成立。1990年3月，经国家科委批准，国家智能计算机研究开发中心（以下简称“智能中心”）正式成立，依托计算所组建，李国杰担任主任。时任306主题专家组成员的李国杰后来回忆说^{[8]4}：“‘863计划’306主题叫作智能计算机主题，显然国家的初衷是要我们研制智能计算机。但是，要不要追随日本，研制以并行推理机为标志的第五代计算机，306专家组的专家们仍有疑虑。在汪成为组长的领导下，专家组成员一直在思索、讨论如何走一条适合世情、国情的发展计算机技术之路。”

1991年4月18日，钱学森在与戴汝为、汪成为、于景元、王寿云的谈话中说^{[7]146}：“机器是帮助人、使人的作用发挥得更加充分。我建议863-306的名称应改为‘人机智能系统’。人脑是开放的巨系统，计算机也是一个巨系统，再加上情报、资料、信息库……而成为一个人机智能系统。”^{[7]145}“现在还不可能很快实现这种人机智能系统，目前只能做些‘妥协’，实事求是，尽量开拓当前计算机的科学技术，使计算机尽可能地多帮助人来做些工作。我希望把最终实现人机智能系统这件事赶快定下来。这应该是863-306的目标。为此我已向朱光亚主任、聂力副主任写了报告。”

智能中心成立后，面临是否追随日本研制第五代计算机的抉择。最终专家组的共识与钱学森的判断一致——不盲目追随日本的定制化路线，而是选择适合中国国情的通用并行计算机发展道路。李国杰院士回忆说：“‘863计划’启动以前，国内关于计算机技术的发展方向已经有许多讨论甚至争论。受日本倡导的第五代计算机的影响，当时多数意见认为要尽快启动智能计算机研制。但有一位学者头脑十分清醒，他正确预测了之后30年计算机技术的发展，这位学者就是大名鼎鼎的钱学森。”^{[8]3}“回想20世纪90年代的科研工作，306主题的发展道路基

本与钱老的思路不谋而合，智能中心和后来成立的曙光公司为我国发展高性能计算机作出了实实在在的贡献。”^{[8]5}

1991年9月17日，李国杰在全国第一次人工智能与智能计算机学术会议上作了“我们的近期目标——计算机智能化”的报告^{[8]5}，他指出“开展智能计算机研究必须同时在两条战线上进行工作。一方面要努力突破传统计算机甚至图灵机的限制，探索关于智能机的新概念、新理论和新方法；另一方面要充分挖掘传统计算机的潜力，在目前计算机主流技术基础上实现计算机的智能化。”306专家组把这种战略称为“顶天立地”战略。这一战略对今天的智能计算研究仍具有借鉴意义：既要探索智能计算的新概念、新理论，也要充分挖掘通用计算机的潜力。20世纪90年代在“智能计算机”主题下发展通用并行计算机，是兼顾前沿探索与现实条件的务实选择。面对当前人工智能的可解释性和能耗约束，基础理论与系统技术仍须协同突破。

结束语

从20世纪40年代在美国接触以ENIAC为代表的早期电子计算机，到晚年仍持续关注智能计算机与思维科学的发展，钱学森对计算技术的关注跨越了五十余年，贯穿了中国计算机事业从空白到奠基、从追赶到前瞻的完整历程。在这一历程中，他先后在战略规划、机构建制、工程攻坚、理论前瞻等关键环节发挥了重要作用。

这四个节点并非孤立，而是相互关联：从战略规划到机构建制，从工程攻坚到理论前瞻，每一步都紧扣国家需求与技术前沿。贯穿其中的，是钱学森一以贯之的“技术科学”思想——电子计算机作为技术科学的核心工具，既是连接理论探索与工程实践的纽带，也是推动思维科学从抽象逻辑向形象思维、创造思维跃升的物质载体。他关于“极度并行”是智能机核心技术方向的判断，以及“人机结合”而非机器替代人的基本立场，为“863计划”306主题的战略论证提供了思想背景。李国杰院士后来评价钱学森“正确预测了之后30年计算机技术的发

展”，这一判断在智能中心选择通用并行计算机道路的实践中得到了印证。

计算所是这一战略推动最直接的产物与见证者——从筹备成立、正式建制，到承担 757 工程，再到成为智能中心的依托单位，每一关键节点都体现了钱学森的远见与执行力。回顾这段历史，意义不止于还原一位科学家较少被提及的贡献，更在于揭示中国计算技术演进的内在逻辑：战略方向由国家需求牵引，技术突破依赖系统组织，理论前瞻植根于对学科交叉的理解。

当前，人工智能的“黑盒”尚未被充分打开，大模型的规模定律面临能耗等现实约束，基础理论的突破成为急需任务。钱学森在数十年前提出的“人机结合”“极度并行”以及“智能的思维过程是一个并联的、多层次的、多途径的网络”等思想，至今仍有参考价值。厘清这一轨迹，既是“计算技术考据学”的一次实践，也为当下科技自立自强提供了一份可资参照的历史资料。 ■

致谢：计算机历史资深研究者徐祖哲对本文提出了宝贵意见和建议。谨以此文祝贺计算所创建 70 周年，纪念为新中国计算技术事业创立和发展作出贡献的所有人员。



刘宇航

CCF 高级会员，CCCF 编委。中国科学院计算技术研究所副研究员。主要研究方向为先进计算机系统结构、人工智能。
liuyuhang@ict.ac.cn

延伸阅读

- [1] 叶永烈. 走近钱学森[M]. 成都: 天地出版社. 2019.
- [2] 司宏伟. 钱学森与中国计算机事业初创[J]. 自然辩证法通讯, 2022, 44(8): 58-64.
- [3] 钱学森. 从飞机、导弹谈到控制它们的电子计算机[N]. 光明日报, 1956-10-08.
- [4] 刘宇航, 谭丽娅. 计算装置历史演变选析及对构建“计算技术考据学”的若干思考[J]. 计算, 2025, 1(3): 88-95.
- [5] 钱学森. 怎样对待国家的紧急任务[N]. 人民日报, 1957-12-20(7).

- [6] 高庆狮. 我国第一台大型向量计算机——757机[A]. 中国科学院计算技术研究所45年（1956-2001）. 北京: 中国科学院计算技术研究所内部印制, 2001: 82-84.
- [7] 卢明森, 编. 钱学森思维科学思想[M]. 北京: 科学出版社. 2012.
- [8] 李国杰. 对20世纪90年代高性能计算机研制和应用的几段回忆[M]//钱德沛, 等编. 中国高性能计算30年. 北京: 科学出版社, 2024: 3-8.
- [9] 何祚庥. 钱学森教授与发展科学技术的十二年规划[J]. 院史资料与研究, 1992, (3): 23-31.
- [10] 张劲夫. 让科学精神永放光芒——读《钱学森手稿》有感[N]. 人民日报, 2001-09-24(1).
- [11] 钱学森. 论技术科学[J]. 科学通报, 1957, 2(3): 97-104.
- [12] 张梓昌. 回忆103机[A]. 中国科学院计算技术研究所45年（1956-2001）. 北京: 中国科学院计算技术研究所内部印制, 2001: 48-49.
- [13] 多罗特尼欽 A A. 数值计算方法在空气动力学中的重要性 and 可能性[J]. 力学学报, 1959, 3(4): 352-355.
- [14] 郝柏林. 奋斗 机遇 物理（下）[J]. 物理, 2020, 49(10): 716-722.
- [15] 张劲夫. 请历史记住他们——关于中国科学院与“两弹一星”的回忆[M]// 黄宗焯. 钱学森——中国爱国知识分子的杰出典范. 北京: 清华大学出版社, 2011, 152-153.
- [16] 吴几康. 119大型通用数字计算机[A]. 中国科学院计算技术研究所三十年（1956-1986）. 北京: 中国科学院计算技术研究所内部印制. 1986: 87-89.
- [17] 蒋士骧. 回顾研制109乙机的意义及其经验[A]. 中国科学院计算技术研究所三十年（1956-1986）. 北京: 中国科学院计算技术研究所内部印制. 1986: 95-97.
- [18] 我国电子计算机工业大事记（一）（1956年~1983年）[J]. 中国科技史料, 1985(01).
- [19] 吴几康, 沈绪榜. 我国第一台组件计算机的诞生[A]. 中国科学院计算技术研究所三十年（1956-1986）. 北京: 中国科学院计算技术研究所内部印制. 1986: 160-163.
- [20] 陶登意. 108 乙机研制和154-I工程回忆[A]. 朱新甫. 电子工业部第十五研究所三十周年. 北京: 电子十五所内部印制. 1988: 52-53.
- [21] 757大型向量计算机组件[EB/OL]. (2018-09-12). <https://www.ccf.org.cn/c/2018-09-12/652327.shtml>.
- [22] 王玉山, 李清华. “他一直都站得那么高，看得那么远”——中国工程院院士汪成为深情回忆钱学森[EB/OL]. (2009-11-05). https://www.cas.cn/zt/rwzt/qxsssyzn/jnwz/201010/t20101031_3000064.html.