

钱学森 创新精神贯穿一生

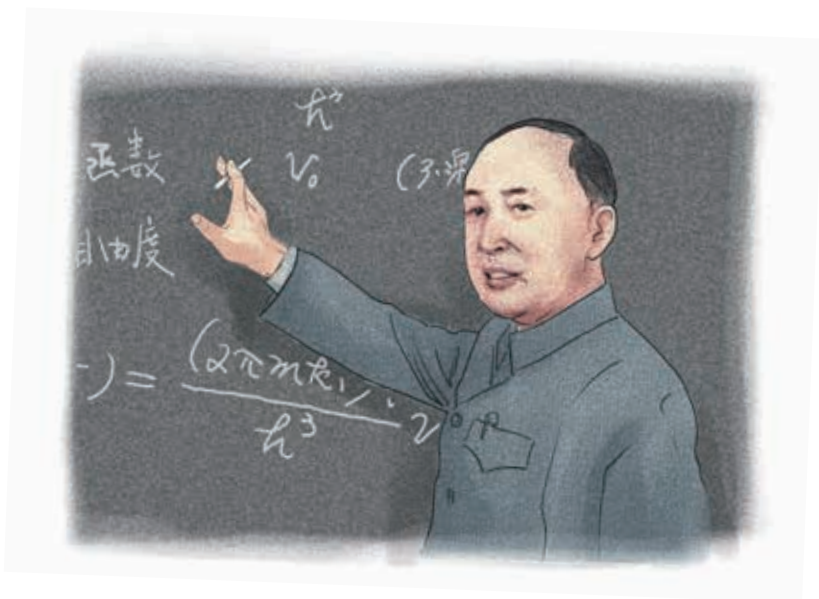
钱学森（1911年12月—2009年10月），空气动力学、火箭专家，系统科学家，中国科学院院士，中国工程院院士。在应用力学、喷气推进、工程控制论、物理力学等技术科学及系统科学，以及中国“两弹一星”研制等大规模科研系统工程等领域取得许多创新成就，晚年提出开放的复杂巨系统理论，致力于构建体现中国科技自信的现代科学技术体系。1989年6月获得“小罗克韦尔奖章”和“世界级科技与工程名人”称号，1991年获得“国家杰出贡献科学家”荣誉称号，1999年荣获“两弹一星”功勋奖章。入选100位新中国成立以来感动中国人物，入选“庆祝中华人民共和国成立70周年大型成就展”1970—1979年英雄模范人物。

为反法西斯战争胜利勇攀科技高峰

1935—1955 年，钱学森在美国学习和工作 20 年，他的科技创新实践主要集中在自然科学领域的技术科学层次。这是他一生科技创新实践的第一阶段。

在这一时期，“科学和工程进一步走向紧密结合，形成了技术科学这样一个介于基础科学和工程技术中间层次的学科。以空气动力学和工程控制论等技术科学为指导的航空工业和火箭技术是决定第二次世界大战胜利进程的最前沿科学技术”。钱学森师从国际应用力学领域权威冯·卡门，始终如一地以推动航空和航天新技术的发展为目标，在空气动力学、薄壳稳定性、火箭技术和工程控制论等方面取得了世界级的原创成果，对提升航空技术水平及航空兵的战斗力的，为世界正义力量最终赢得反法西斯战争胜利发挥了独特的作用。

留美期间，钱学森在空气动力学研究方面成果迭出，影响最大的是“卡门 - 钱学森公式”。第二次世界大战爆发前，航空界已开始由低速飞行



向高速飞行发展，制空权的重要性日益凸显，对飞机的速度提出了越来越高的要求。当飞行速度接近音速的时候，空气的可压缩性开始产生作用，致使飞行阻力急剧增加，机翼抖振，甚至会使飞机突然丧失升力而急速下坠，这就是著名的“声障”。如何改进飞机机身和机翼的外形以消除空气的压缩效应对高速飞行的制约，成为航空学界亟待解决的难题之一。正在攻读博士学位的钱学森在冯·卡门的指导下，经过艰苦细致的研究，于1939年提出亚音速气流中空气的压缩性对翼型压强分布的修正公式，即著名的“卡门－钱学森公式”：

$$\frac{dv_1}{v_1} = (1 - Ma^2)^{1/2} \frac{dv}{v}, \quad C_p = \frac{2(1 + \sqrt{1 - Ma_\infty^2})C'_p}{2\sqrt{1 - Ma_p^2} + (C'_p - 2)Ma_\infty^2 + 2}。$$

用这个公式可以计算出当飞行速度接近每秒340米的声速时，空气的压缩性对机翼和机身的升力影响有多大，同时还可估算出该翼型的临界马赫数。该公式发表以后，立即受到国际航空界，特别是空气动力学研究人员和飞机设计师的青睐。在现代计算手段——电子计算机出现以前，它一直是飞机设计师们公认的最好用、最准确的计算公式。“独到的见解和原创性的贡献使钱学森在28岁时就成了世界知名的空气动力学家，现代世界科技史册也因此留下了为数不多的中国人的名字”。

勇担中国导弹航天技术领导重任，开创系统工程理论

从1955年回国到1982年退出一线领导岗位，这17年钱学森的科技创新实践主要集中在“两弹一星”大规模科研系统工程上，属于系统科学领域的工程技术层次。这是他一生科技创新实践的第二阶段。

外国人能搞的，难道中国人就不能搞？

钱学森是中国系统科学的奠基人，在世界科学舞台上开创了独具特色的中国系统学派，系统工程与总体设计部思想是钱学森毕生的追求。1954年，钱学森的《工程控制论》一书英文版在美国问世，被公认为是奠基性的权威著作，确立了钱学森在工程控制论这一学科的地位，书中特别提出了“用不太可靠的元件可以组成可靠系统的理论”，这是钱学森敢于向党和国家建议优先发展导弹航天技术的信心所在。钱学森回国后在哈军工调研时，陈赓问钱学森：“我们能不能搞导弹？”钱学森刚从美国受尽屈辱地回来，正憋着一肚子气呢，他很干脆地回答说：“中国人怎么不行啊？外国人能搞的，难道中国人就不能搞？难道中国人比他们矮一截？”陈赓听了以后非常高兴：“好极了，就要你这句话！”20世纪50年代，钱学森高瞻远瞩，主持起草《建立我国航空工业的意见书》，制定《我国地地导弹发展途径的意见》，提出我国卫星发展的“三步曲”，对党和国家领导人决策创建中国航天事业起到了决定性的推动作用。

钱学森作为中国科技界的领军人物，在“两弹一星”工程上对中华民族做出的历史功绩彪炳史册。邓小平同志曾说：“如果60年代以来中国没有原子弹、氢弹，没有发射卫星，就不能叫有重要影响的大国，就没有这样的国际地位……大家要记住那个年代，钱学森、李四光、钱三强那一些老科学家，在那么困难的条件下，把‘两弹一星’和好多高科技搞起来。”

“两弹一星”的研制成功是新中国由弱变强的标志，是新中国成立后最振奋人心、最为世界瞩目的事业。但钱学森本人却把自己的贡献看得很淡。钱学森多次表明：“称我为‘导弹之父’是不科学的。因为导弹卫星工作是‘大科学’，是千百人大力协同才搞得出来的，只算科技负责人就有几百，哪有什么‘之父’？我做的只不过是党所领导的、有千万科技工作者参加的伟大科研系统工程中的一粒小芝麻，真算不上什么。一切成就归于党，

归于集体！”

成功了，功劳是大家的；失败了，我来担责

以导弹、卫星等航天科技为代表的大规模科学技术工程，既有科学层次上的理论问题要研究，又有技术层次上的高新技术要开发，同时还要把这些理论和技术应用到工程实践中，生产出产品来。如何把成千上万人组织起来，以较少的投入，在较短时间内研制出高质量、高可靠的型号产品，这不仅需要科学和技术上的创新，还需要一套科学的组织管理方法和超凡的领导艺术。钱学森曾说，中国“两弹一星”工程成功实践的最重要一条经验，就是把党的民主集中制原则和解放战争时期大规模兵团作战的成功经验运用到大规模科研系统工程的组织管理工作中。

钱学森手下最重要的4个副手是任新民、屠守锷、黄纬禄、梁守槃。每到周日下午，钱学森都把“四大金刚”请到家里，讨论布置下周的工作。钱学森总是让4位副手先发言，自己最后总结。钱学森说，如果大家达成一致的意见，就由4位副手下去分别组织落实。没达成一致的，如果时间允许，那大家回去继续研究，下周接着讨论；如果必须马上办，那就由他根据大家的意见拍板决策。钱学森说：“最重要的就是一条，我决策的由我负责。成功了，功劳是大家的；失败了，我来担责。”科学上的民主集中是我们国家大规模科研系统工程取得成功的一条重要经验。

钱学森在开创我国航天事业的同时，也开创了一套既有普遍科学意义，又有中国特色的系统工程管理方法与技术。在研制体制上是规划、研究、设计、实验、试制和生产一体化；在组织管理上是总体设计部和两条指挥线的系统工程管理方法。实践已经证明了这套组织管理方法的科学性和有效性。从今天来看，就是在当时条件下，把科学技术创新、组织管理创新和体制机制创新有机结合起来，实现了综合集成创新，从而走出了一条发展我国航天事业自主创新和协同创新的道路。如果说钱学森第一阶段

的科技创新是在自然科学领域的技术科学层次，第二阶段大规模科研系统工程的组织管理实践已经使钱学森的科技创新范围远远超出第一阶段的自然科学领域，理论上的代表作是1978年与许国志、王寿云联名发表在《文汇报》上的《组织管理的技术——系统工程》。航天系统工程的成功实践，不仅开创了大规模科学技术工程实践的系统工程管理范例，而且也为钱学森后来创立开放的复杂巨系统理论和现代科学技术体系提供了雄厚坚实的实践基础。

创立开放的复杂巨系统理论

从1982年退出一线领导岗位到2009年离开我们，这28年钱学森的科技创新实践主要集中在创立开放的复杂巨系统理论，提出了从定性到定量的综合集成方法论，推动建立体现中国智慧中国科技自信的现代科学技术体系。这是他一生科技创新实践的第三阶段。

提出开放的复杂巨系统理论和综合集成方法论

退出一线领导岗位以后，钱学森将全部精力投入到他最喜欢也最擅长的科技创新工作中去，研究对象转向更为复杂的生命系统、社会系统，以至客观世界整体。钱学森本人是集东西方文明精华得智慧的大成者。在美国学习工作20年，使他深悉开创了人类历史上第一次文艺复兴和工业革命的资本主义文明，特别是现代科学技术的优势，这是我们仍然要继续努力学习和追赶的。但是，今天人类社会面临的一系列复杂问题，从生命起源、意识本质、大物质构造到生态环保、可持续发展，都不是以还原论为基础的西方科学技术所能完全解决的。西方科学界认为“21世纪是复杂性问题的世纪”，现代科学技术亟须科学范式和方法论层次的突破。钱学森在前两个阶段科技创新的基础上，依据系统学原理，将这种单纯用还原论方法无法解决的问题定义为开放的复杂巨系统问题，并创立了开

放的复杂巨系统理论，代表作是1991年与戴汝为、于景元联名发表在《自然》杂志上的《一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论》。

自幼受中华优秀传统文化熏陶，回国后又在党的领导下创立了举世瞩目的“两弹一星”事业，使钱学森清楚中华文明的整体论思维可以弥补还原论的不足。在对社会系统、人体系统和地理系统3个开放的复杂巨系统研究实践的基础上，钱学森和他的合作者提炼出了把还原论和整体论辩证统一起来的系统论，即从定性到定量的综合集成方法，这是科学范式和方法论层次的原始创新，是目前解决开放的复杂巨系统问题唯一可行的方法论。综合集成方法是一套实践系统，其实践对象是复杂巨系统，实践方法是定性到定量的综合集成方法，实践主体是总体设计部。综合集成方法的理论基础是思维科学，方法基础是系统科学与数学科学，技术基础是以计算机为主的现代信息技术和网络技术，哲学基础是辩证唯物主义的实践论和认识论。综合集成方法的实质是把专家体系、知识体系及机器体系有机结合起来，构成一个高度智能化的人—机结合与融合体系，是人—机结合的信息处理系统，也是人—机结合的知识创新系统，还是人—机结合的智慧集成系统。

建立体现中国智慧中国科技自信的现代科学技术体系

钱学森是坚定的马克思主义者，他坚信辩证唯物主义的基本原理：客观世界是普遍联系的，因而认识客观世界和改造客观世界的各项科学技术也是普遍联系的，是一个完整的体系。正如德国著名物理学家普朗克所言：“科学是内在的整体，它被分解为单独的整体不是取决于事物的本身，而是取决于人类认识能力的局限性。实际上存在着从物理到化学，通过生物学和人类学到社会学的连续的链条，这是任何一处都不能被打断的链条。”

在1991年10月16日国务院、中央军委授予“国家杰出贡献科学家”

荣誉称号和一级英模奖章后的答谢词中，钱学森袒露了自己余生的心愿：

“我有个打算，我的打算就是：我认为今天科学技术不仅仅是自然科学工程技术，而是人认识客观世界、改造客观世界整个的知识体系，而这个体系的最高概括是马克思主义哲学。我们完全可以建立起一个科学体系，并且运用这个科学体系去解决我们中国社会主义建设中的问题。”

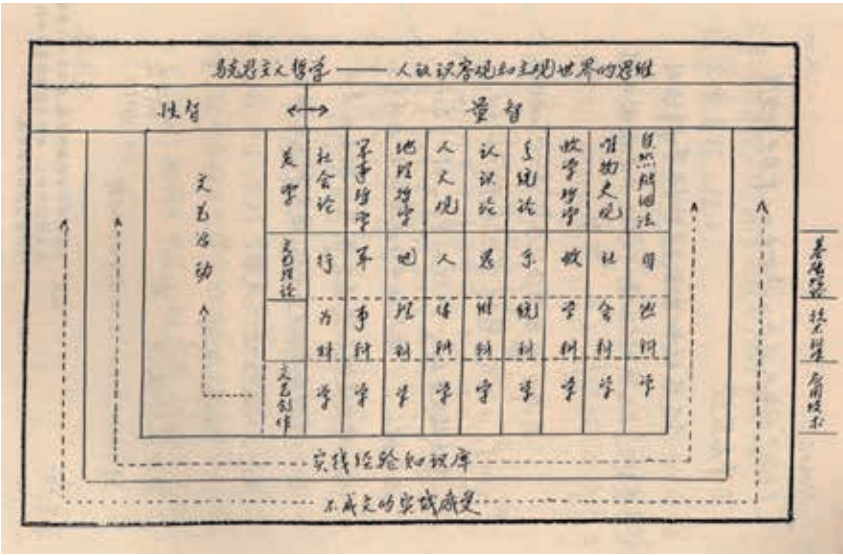


图1 钱学森 1994 年手绘的现代科学技术体系架构图，1996 年又增加了建筑科学

钱学森从马克思主义哲学的高度对认识“客观世界的普遍联系性”作出了开创性贡献，他以开放的复杂巨系统理论和从定性到定量的综合集成方法论为指导，提出了体现中国智慧中国科技自信的现代科学技术体系。这是一个不断发展的开放系统，马克思主义哲学居于顶端，既对科学技术起指导作用，又要随着科学技术的发展而不断发展。这个体系在横向上包括从各自不同角度研究整个客观世界的 11 个科学部门，纵向上打通了每个科学部门从实践经验（钱学森称之为“前科学”）到工程技术、技术科学、基础科学、哲学桥梁，直至马克思主义哲学的通道。钱学森说自己“真

正做到触类旁通是在懂得了现代科学技术体系以后” “我用了 70 年的学习才悟到以上道理，太长了。能不能用不到 20 年就学到？可以的。用人——机结合，用信息技术，用信息网络”。

人类社会系统是个开放的复杂巨系统，在历史长河中遵循客观规律滚滚向前，也受到科学、技术、战争、病菌等各种大事件的触发。互联网、大数据、云计算、区块链、物联网、人工智能等新技术的出现，总体国家安全观、国家治理体系、人类命运共同体、“一带一路”、“新基建”等的提出；特别是新型冠状病毒肺炎疫情的暴发是对国家制度和治理体系的一次“大考”。以新型冠状病毒肺炎疫情为触发点，面向新时代、针对新问题，我们需要从系统的观点和革命的精神来阐述钱学森思想对当代的现实意义。

集大成得智慧。钱学森曾说：“社会主义中国要把全世界全人类的智慧和精华统统综合集成起来。今天我们干的这个事情，是关系到中国的命运，不但是中国的命运，而且是世界人类发展的大事情。我们将开创一次新的文艺复兴，如果说第一次文艺复兴创建了资本主义文明，这次新的文艺复兴将创建社会主义文明。同时，我国五千年辉煌的文学艺术传统也将结合最新科技成果，发扬光大！”

创新思维 = 时代之问 × 大成智慧 × 坚定信仰

钱学森用自己一生的创新实践回答了自己提出的“钱学森之问”

“为什么我们的学校总是培养不出杰出人才？”——这是著名的“钱学森之问”，这也是创新之问！钱学森提出了此“世纪之问”，又用自己一生的创新实践回答了“钱学森之问”。清华大学经管学院院长钱颖一面对“钱学森之问”提出“创造力 = 知识 × 心智模式”的观点。结合钱学

森一生的创新实践和创新成就，我们勾勒出钱学森创新公式：创新思维 = 时代之问 × 大成智慧 × 坚定信仰。

钱学森的创新解决的是“时代之问”。创新离不开好奇心和想象力，爱因斯坦说：“我没有特殊的天赋，我只是极度的好奇。”钱学森的好奇心总是直面时代的问题，问题是时代的声音，他总是紧跟时代的步伐，解决现实的“大问题”。“卡门-钱学森公式”解决高速空气动力学问题；系统工程解决组织管理的技术问题；总体设计部直面当时“干部不懂技术、科研人员不懂管理、大家焦头烂额”的大规模科学技术组织管理的体制问题；从定性到定量的综合集成方法解决研究开放的复杂巨系统方法论问题；现代科学技术体系解决人类知识集大成得智慧的框架问题，为人类的第二次文艺复兴储备知识基础。

钱学森的创新使用的是“大成智慧”。创新离不开知识，爱因斯坦说：“大学教育的价值不在于记住很多事实，而是训练大脑会思考。”钱学森用系统科学思想对人类的知识进行宏观研究，提出了关于现代科学技术的体系框架。钱学森在各领域都有独到见解的创新都得益于打破框架，融会贯通，娴熟使用此框架，现代科学技术体系已经“活”了，真正成为“大成智慧”，创新就有了源源不断的智慧泉水。

钱学森的创新依赖的是“坚定信仰”。创新离不开价值取向，爱因斯坦说：“在科学的殿堂里有各式各样的人，他们探索科学的动机各不相同。有的是为了智力上的快感，有的是为了纯粹功利的目的，他们对建设科学殿堂有过很大的甚至是主要的贡献。但是科学殿堂的根基是靠另一种人而存在的。他们总想以最适当的方式来画出一幅简化的和易领悟的世界图像，他们每天的努力并非来自深思熟虑的意向或计划，而是直接来自激情。”钱学森是内在价值的驱动者，没有马克思主义的坚定信仰，没有一切为了祖国强大的坚定信念，创新便没有立足之本，在创新的路途中就会被各种“新想法、新概念、新方法、新途径”所迷惑，走向科学的

虚无主义。钱学森高度重视哲学的意义：“一个科学家，他首先必须有一个科学的人生观、宇宙观，必须掌握一个研究科学的科学方法！这样，他才能在任何时候都不致迷失道路；这样，他在科学研究上的一切辛勤劳动，才不会白费，才能真正对人类、对自己的祖国作出有益的贡献。”

钱学森的一生是科学的一生、奉献的一生、光辉的一生，也是创新的一生。在人生的最后阶段，他向党和国家提出的最后一个建议是“大学一定要培养拔尖创新人才”。钱学森经常讲：“科学是不完善的。如果科学真正是完善的，那就没有科学研究可做了……科学在于创新，在老圈子里兜是没有出路的。”“如果不创新，我们将成为无能之辈！”

创新精神贯穿于钱学森的一生。

（撰稿：李明 贺兴华 汪涛 姚轶薪）

（致谢：本文第一部分参考引用了上海交通大学史贵全老师《人民科学家对人类正义事业的贡献——钱学森在二战时期的科学成就》一文，上海交通大学姜玉平老师为本文第一部分提供了素材。）

参考文献

-
- [1] 宋健. 钱学森科学贡献暨学术思想研讨会论文集 [M]. 北京：中国科学技术出版社，2001.
 - [2] 石磊，王春河. 大科学家钱学森的小故事 [M]. 北京：北京少年儿童出版社，2015.
 - [3] 涂元季. 人民科学家钱学森 [M]. 上海：上海交通大学出版社，2002.
 - [4] 李明. 钱学森的科学道德境界 [J]. 国防科技，2017（6）：7-13.
 - [5] 郑哲敏. 钱学森手稿 [M]. 太原：山西教育出版社，2000.
 - [6] 钱颖一. 三答“钱学森之问” [N]. 文摘报，2018-10-02（06）.