

贺钱学森院士
90华诞

钱学森论大成智慧工程

戴汝为

(中国科学院自动化研究所, 北京 100080)

[摘要] 扼要地介绍了著名科学家钱学森近20年来所提出的现代科学技术体系、综合集成法、综合集成研讨厅体系, 以及所形成的“大成智慧”学术思想。

[关键词] 现代科学技术体系; 大成智慧工程; 大成智慧

1 提高思维能力的途径

人类, 尤其是在现代社会中, 面临着的四大基本问题是: 物质的本质, 宇宙的起源, 生命的本质及智能的涌现。长期以来, 国内外的科学家们一直锲而不舍地从不同的角度和不同的途径来研究这些问题。这里所说的“智能的涌现”, 英文为“emergence of intelligence”。“intelligence”一词在我国大陆译为“智能”, 在台湾译为“智慧”。要给出一个确切的和中、外均能接受的定义是很不容易的。但自古至今, 人们对“智慧”和与之有紧密联系的“思维”, 以及与之有关的问题都进行过研究或正在研究, 因为提高人的“智慧”或提高人的“思维能力”对人类是至关重要的大事。

20世纪中期, 由于电子数字计算机的问世, 信息技术得到了突飞猛进的发展; 信息的存储、传输、处理及应用等成为大家十分关注的问题。人们开始并已经认识到, 数字计算机是一个处理信息的装置, 而人脑也同样是一个信息处理的系统; 这一认识的提高对基础科学的研究与发展是一个飞跃。1956年, 美国的一批科学家在Dartmouth会议上有了共识, 并提出了新的学科“人工智能”, 也就是利用计算机来模拟和实现人脑的部分职能。由于计算机科学发展的突飞猛进, 到了80年代, 第五代计算机、高性能计算机、智能计算机的研究计划纷纷出台, 人们对人工智能的研究达到高潮。

正值此时, 欣逢我国改革开放的大好形势, 我国著名科学家钱学森的科学思想极其活跃。他认为: “现代科学是一个完整的系统, 或者是一个完整的体系, 要有一个完整的认识。”“西方与东方科学思想的结合是奥妙无穷的。我们要的是西方与东方科学思想的结合。”“我们所提倡的系统论, 既不是整体论, 也非还原论, 而是整体论与还原论的辩证统一。”^[1]这段时期, 钱学森发表了大量开创性的、前瞻性的重要文章, 如“自然辩证法、思维科学和人的潜力”^[2], “系统科学、思维科学和人体科学”^[3], “关于思维科学”^[4]等。他高瞻远瞩, 提出了几个新的“科学部门”, 并以系统论的观点构建“现代科学技术体系”。可见他的系统科学的思想, 科学技术体系的思想, 人体科学研究思想以及思维科学研究思想, 均得到了充分发展, 理论体系逐渐成熟。由于他在美国加州理工学院时期深感科学民主的重要意义, 并深深得益于“讨论班”(seminar)的学术活动方式, 80年代初, 钱学森在北京组织了三个讨论班: 系统学讨论班、人体科学讨论班和思维科学讨论班。他亲自参加讨论, 每次听完别人的报告后还做系统的发言, 发表自己的看法和见解。“人体科学讨论班”从1983年至1987年长达4年之久; “系统学讨论班”的时间更长; “思维科学讨论班”的活动时间相对较短。

1986年在国家“八六三”计划的信息领域设立了“智能计算机”主题项目, 在此之前钱学森提

[收稿日期] 2001-10-25; **修回日期** 2001-11-07

[作者简介] 戴汝为(1932-), 男, 云南昆明市人, 中国科学院院士, 中国科学院自动化研究所研究员, 博士生导师

出创建“思维科学”的主张。他认为，人工智能和智能计算机的基础是“思维科学”，当前思维科学研究的突破口在于“形象思维”研究的突破；思维科学的任务是“从思维的角度找出思维能力发展的途径”。

1990年钱学森以“系统论”的观点，提出“从定性到定量综合集成法”（metasynthesis），并把这项技术与《实践论》结合起来，阐明了这项技术是在现在科学技术下《实践论》的具体化。紧接着他又汇总了几十年来世界学术界讨论的 seminar、C³/I 及作战模拟、人工智能、灵境技术（virtual reality）和“人、机结合”的智能系统、系统学等方面成功的经验，进一步提出我们的目标应该是建成一个“从定性到定量综合集成研讨厅体系”。其构思是把人集成于系统之中，采取“人、机结合”、以人为主的技术路线；这样才能充分发挥人的作用，使“研讨厅”的集体在讨论问题时成员间能够互相启发，互相激励，使集体的创见远远胜过一个人的智慧。通过“研讨厅”体系，还可以把今天世界上千百万人的聪明智慧和古人的智慧（这种智慧可以通过书本上的记载以知识工程中的专家系统体现出来）统统综合集成起来，以得出完备的思想和结论；这样就给予了科学与经验相结合的“从定性到定量综合集成的方法论”以科学的表达形式。

前面已经谈到思维科学的任务是从思维的角度找出思维能力发展的途径并付诸实施。钱学森通过他本人的研究，从总结 20 世纪 40 年代以来信息技术发展给人类带来前所未有的巨大影响，从科学是一个整体的观点构建了现代科学技术体系，从研究系统科学、人体科学、思维科学等新兴科学本身及与其他科学领域的交叉发展与整合，找到了思维能力发展的途径，并付诸实施。

2 适时提出“第五次产业革命”

邓小平关于“科学技术是第一生产力”的论点，是对唯物史观的重要发展。依据这种唯物史观，钱学森认为：科学革命是人类认识客观世界的飞跃，技术革命是人类改造客观世界的飞跃；而科学革命、技术革命又会引起社会整个物质资料生产的变革，即经济的社会形态的变革，这就是产业革命。早在 1979 年，他以“现代化、技术革命与控制论”为题目^[5]，着重论述了对现代生产和现代科学技术的面貌发生深远影响的三项技术革命：a.

核能技术革命；b. 电子计算机技术革命；c. 航天技术革命。对其中第二项，他做了这样的表达：

蒸汽机和电力实现了生产过程的机械化，而监督与调整生产过程的工作仍需人工来完成。工人要不断照料机器的动作，用眼、耳和神经系统来直接获取生产过程的信息，然后由大脑对这些信息进行处理，做出要不要改变机器运行状况的决定，并通过手对机器的直接调整来执行这一决定。20 世纪初以来，产生了能对各种物理量进行精确测量的感受器件，也产生了各种执行机构。获取机器生产状况信息的工作，由感受器件取代了人的器官；控制决定的执行，由执行机构取代了人手对机器的直接调整。但是，控制决定还得由人直接做出，整个生产过程还要人直接参与。这样一种状况影响着生产率进一步提高。对一些日益精密化、快速化的现代工业（如化学工程过程），人工控制已完全不能胜任，因为在这种情况下人的思维在速度、可靠性和耐力方面都显得不够。50 年代出现了模拟自动控制设备，在一些不太复杂的生产过程中实现了自动控制。但是，这些设备一般不能用于复杂的现代化工业过程，不能进行数据处理，也不能用于整个工厂或车间的全盘自动化。电子计算机的出现并应用于工业生产，才使自动控制技术发生了革命。第一，电子数字计算机具有计算精确的特点，与数字化感受器件、数字化执行结构结合，能够实现工业生产过程的精密控制；第二，电子数字计算机具有很大的计算能力，可以根据生产过程运行状况的改变而自动改变调节参数；可以计算出生产过程的发展趋势，以便决定应当预先调整那些操作条件，所以计算机能够对复杂的工业生产过程实现自动控制；第三，计算机不仅能对生产过程进行最优控制，而且能对包括感受器件、执行机构和计算机本身在内的全部生产设备进行监督控制。所以计算机能够实现整个企业和企业体系生产过程的全盘自动化。

1944 年那台名叫 MARK-1 的大型继电器式计算机，1945 年宾夕法尼亚大学那台采用电子管代替继电器的 ENIAC 电子计算机，都出现在控制论完全形成之前。但是，用替续的开关装置和用二进制作作为电子计算机设计的最合适基础，完全是受惠于从 1942 年前后开始的控制论思想的发展：人的神经系统在做计算工作时，作为计算元件的神经元或神经细胞，实质上可以看作只具有两种动作状态的替续器。“工程控制论”出现以后，已日益深

刻地被应用于指导电子计算机的设计。例如,能够记住主题并把以后接受的信息同这个主题联系起来智能终端,能够识别语言波形、完全按照声音来操作的计算机,能够直接把图像转变为数字信息存储、处理的计算机,以及具有一定自学习、自组织功能的以电子计算机为心脏的机器智能等等,都是用“控制论”原理来革新电子计算机体系结构的一些新发展。工程控制论正在推动电子计算机技术革命的深入。这样一个现实已经来到了人类的面前:由电子计算机和机器智能装备起来的人,已经成为更有作为、更高超的人!

关于产业革命,钱学森对人类生产发展的历史作了扼要概括,并适时地提出了“第五次产业革命”^[6]:

在上古时代,当人们靠采集和狩猎为生时,是谈不上物质资料生产的,因而也就不存在什么“产业”。从这个意义上说,第一次产业革命大约发生在一万年前的新石器时代,即农牧业的出现。第二次产业革命开始出现商品经济,即人们不再单纯为个人的生存、个人享用而生产,而是开始为交换而生产。这在中国,出现于奴隶社会后期,即公元前约一千年。第三次产业革命是18世纪末由于蒸汽机的出现,产生了大工业生产。第四次产业革命出现在19世纪末,即生产不再是以一个一个的工厂为单位,而是出现了跨全行业的垄断公司。第五次产业革命即目前正在发生的由信息革命所推动的经济的社会形态的巨变,全世界将逐渐构成一个整体来组织生产,出现世界一体化的生产体系。

当前人类正面临着由信息革命推动的第五次产业革命。从第一次产业革命到第四次产业革命,划分社会生产时代具有决定意义的特征,可以说是劳动资料的机械的、物理的和化学的属性。信息革命的核心是信息性的劳动资料,如能处理任何离散形式信息的可编程数字计算机。目前又出现了纳米技术(nanotechnology,即 10^{-9} m的分子尺度的技术)。数字计算机一直是建立在微电子学基础之上的,而纳米技术的发展则使数字计算机建立在分子电子学基础之上。另外,由于信息网络的建设,人们可以在极短的时间内同极远的地方进行联系,也是20世纪最伟大的通信奇迹的一部分。正在发展的宽频带综合业务数字网络(BISDN),使信息传输在数量与质量方面均有大幅度的提高,并很可能在21世纪初取代传统的电话网络,单个电话机、

电视机和计算机的数量将不再大幅度增长;将由集三种功能于一体的多媒体信息装置所取代。

21世纪,人类必须在信息的汪洋大海中航行。人们的思维工作方法应该有一个飞跃,才能适应信息时代的要求。因此,总体规划我国第五次产业革命的思维工作方法成为必须解决的重要课题。80年代初钱学森对处理“复杂系统”的定量方法学作了精辟的概括,提出将科学理论、经验和专家判断力相结合的半经验半理论的方法。此后他又提出“从定性到定量综合集成研讨厅”(Hall for workshop of metasynthetic engineering)体系可以看成是总体规划第五次产业革命思维工作方法的“核心”,它实际上是将民主集中制原则运用于现代科学技术方法论之中并寻求科学与经验相结合的解答。这样的研讨厅体系将是思维方法上的一次重大的变革。

3 大成智慧工程

钱学森在美国期间(1935—1953),从在加州理工学院(CIT)读研究生开始到成为麻省理工学院(MIT)最年轻的教授以及加州理工学院的教授,他是以应用力学的研究而举世闻名的。他在回国前的1954年,美国出版了他的专著《Engineering cybernetics》(工程控制论)。紧接着此书的俄文、德文、中文译本在相关国家先后出版。该书获1956年中科院自然科学一等奖。该书以其创新性、前瞻性而闻名,对培养我国新一代自动控制方面的专家起到了十分重要的作用,并在国际上获得极高的声誉;同时该书在50年代是自动控制领域中引用率最高的专著。2000年国际著名的自动控制理论专家Astrom在他刚出版的一本新书中,一开始就引用了《工程控制论》“序言”中的一段话:“这门新科学的一个非常突出的特点就是完全不考虑能量、热量和效率等因素,可是在其它各门自然科学中这些因素都是十分重要的。控制论所讨论的主要问题是—一个系统的各个不同部分之间的相互作用的定性性质以及整个系统的总的运动状态。”如果我们着眼于物理世界三个要素的分析:物质、能量和信息,那么控制论只研究信息与控制,它不讨论能量和物质。由此可以看出钱学森早在1955年已经把研究的“着眼点”转到“信息与控制”方面了。

1978年9月27日,钱学森与许国志、王寿云在上海“文汇报”上发表了题为“组织管理的技术——系统工程”一文。这篇文章被誉为系统工程在

我国发展的一个“里程碑”。他与王寿云、柴本良合作完成了军事系统工程的文章^[7]，于1979年7月24日在中国人民解放军总部机关领导同志学习会上作了演讲，从而把系统工程用于军事领域，形成“军事系统工程”。

1990年，钱学森等发表了“一个新的科学领域——开放的复杂巨系统及其方法论”^[8]的重要文章。该文将作者80年代初对处理复杂系统所概括的“经验和专家判断力相结合的半经验半理论的方法”进一步地加以提高和系统化，提炼出“开放的复杂巨系统”的概念，并以系统论的观点，在社会系统、人体系统、人脑系统及地理系统实践的基础上，提出处理“开放的复杂巨系统”的方法论，即“从定性到定量综合集成法”（metasynthesis），并做了如下解释：

“从定性到定量综合集成法”，其实质是把各方面有关专家的知识及才能、各种类型的信息及数据与计算机的软、硬件三者有机地结合起来，构成一个系统。这个方法的成功之处就在于发挥这个系统的整体优势和综合优势，为综合使用信息提供了有效的手段。按我国传统的说法，把一个非常复杂的事物的各个方面综合起来，达到对整体的认识，称之为“集大成”。实际上，“从定性到定量综合集成技术”，就是要把各种情报、资料、信息，把人的思维、思维的成果、人的经验、知识、智慧统统集成起来，因此可以称为“大成智慧工程”（meta-synthetic engineering）。

钱学森在提出“从定性到定量综合集成法”的过程前后有一个明确的观点是：面对着开放的复杂巨系统，这类问题应采取的对策是“人、机结合”、以人为本的综合集成，需要把人的“心智”与计算机的高性能两者结合起来。他总结了在思维科学与智能机有关问题的讨论过程中所得出的看法：“我们要研究的不是没有人实时参与的智能计算机，是‘人、机结合’的智能计算机体系！”他借鉴我国哲学家熊十力把人的心智（human mind）概括为“性智”与“量智”两部分，对“人、机”结合做了解释。我们可以这样理解：“性智”是一种从定性的、宏观的角度，对总的方面巧妙加以把握的智慧，与经验的积累、形象思维有密切的联系，人们通过文学艺术活动，不成文的实践感受得以形成；“量智”是一种定量的、微观的分析、概括与推理的智慧，与严格的训练、逻辑思维有密切的联系，

人们通过科学技术领域的实践与训练得以形成。“人、机结合”是以“人”为主，“机”不是代替“人”，而是协助“人”。从信息处理的角度来考虑把人的“性智”与“量智”同计算机的“高性能”信息处理相结合，达到定性的（不精确的）与定量的（精确的）处理互相补充。目前人们清楚地认识到计算机能够对信息进行精确的处理，而且速度之快是惊人的，但它的不足之处是定性的（不精确）处理信息的能力却很差。尽管研究者将一系列近于定性处理信息的方法引入计算机系统中，企图完善其处理能力，但对于真正复杂的问题，计算机则还是难以解决。与此相反，与计算机相比较，人处理精确信息能力是既慢又差，但是定性处理信息的能力是十分高明的。因此在解决复杂问题的过程中，能够形式化的工作尽量让计算机去完成，一些关键的、无法形式化的工作，则靠人的直接参与，或间接的作用，这样构成“人、机结合”的系统。这种系统既体现了“心智”的关键作用，也体现了计算机的特长。这样一来，人们不仅能处理极为复杂的问题，而且通过“从定性到定量综合集成”，达到“集智慧之大成”。

1992年在“从定性到定量综合集成法”的基础上，钱学森针对如何完成思维科学的任务——“提高人的思维能力”这个问题，进一步提出“从定性到定量综合集成研讨厅”^[9]。这是专家们同计算机和信息资料情报系统一起工作的“厅”，这是把专家们和知识库信息系统、各种人工智能系统、每秒几十亿次的计算机，像作战指挥厅那样组织起来，成为巨型的“人、机结合”智能系统。“组织”二字代表了逻辑、理性，而专家们和各种“人工智能专家”系统代表了以实践经验为基础的非逻辑、非理性智能。所以这个“厅”是21世纪的民主集中制的“工作厅”，是辩证思维的体现。

20世纪90年代初期，美国政府提出“国家信息基础设施（NII）计划”，即人们易于接受而且经常谈到的“信息高速公路”计划后，引起国、内外十分关注信息网络的建设。钱学森一直非常关心信息技术在我国的发展。1995年6月29日他写信给他的同事们^[9]，对信息网络有关问题发表了自己如下的看法：

1) 现在我国也在开始信息网络建设，这是第五次产业革命的先声。

2) 大家似尚未意识到信息网络加用户将构成

一个“开放的复杂巨系统”，不是简单巨系统，更不是大系统，小系统等容易调控的系统。

3) 前见英刊《New Scientist》中就有文论及新加坡政府原来热衷于进入全球信息网络，以促进其经济发展，现在也察觉到这会起许多难以调控的问题，所以政府决定放慢此过程，要研究对策和措施。

4) 可否合作写一篇要上报刊的文章？指出信息网络与用户是一个“开放的复杂巨系统”，对世界社会开放，是人造的。我们必须用“系统学”与“开放的复杂巨系统”理论来研究制定宏观调控的方案。在一个“开放的复杂巨系统”出现前就考虑其调控手段，这在历史上还是第一次吧！定会起大家对“开放的复杂巨系统”的注意。

以上这些思想的前瞻性，在历史的发展过程中被证实了。一个时期以来，国内从事信息网络的一些专家们对上述思想有了较深刻的认识，以万维网(World wide web)所呈现出来的自组织等性质，对互联网(Internet)加用户是“一个开放的复杂巨系统”做了科学的论述；另外对用“系统学”与“开放的复杂巨系统”的理论对网络进行宏观调控的看法已受到有关方面的重视。20世纪末，钱学森的学生们在其学术思想的指导下，提出“支持宏观经济的决策的从定性到定量综合集成体系”项目，已经得到国家自然科学基金委的大力支持，并于1999年6月开始实施。他们充分利用网络技术，致力于把“从定性到定量综合集成研讨厅”建立在Internet的基础上，做到了研讨不受时间和空间的限制，使“研讨厅”实际上是一个“赛博空间”(cyberspace)。这样的“研讨厅”就如钱学森所说的，是利用我们的现代科学技术体系的思想，综合古今中外上万亿个人类头脑的智慧！所以可以称之为“大成智慧工程”，而“大成智慧工程”的更高层次就是“大成智慧学”。

4 知识的源泉——现代科学技术体系结构

钱学森以自己亲身参与美国应用力学发展的深刻体会，论述了技术科学的重大意义与作用：在任何一个时代，今天也好，明天也好，一千年以后也好，科学理论决不能把自然界完全包进去，总有一些东西漏下了，是不属于当时的科学理论体系里的，总有些东西是不能从科学理论推演出来的。所

以虽然自然科学是工程技术的基础，但它又不能完全包括工程技术。因此有科学基础的工程理论就不是自然科学的本身，也不是工程技术的本身，它是介乎于自然科学与工程技术之间的，是两个不同部门的人们生活经验的总和，有组织的总和，是化合物，不是混合物。要综合自然科学和工程技术，要产生有科学依据的理论，需要另一种专业的人。由此看来，为了不断地改进生产方法，我们需要自然科学、技术科学和工程技术三个部门同时并进，在任何一个时代，这三个部门的分工是必需的。

钱学森首先对自然科学与社会科学的历史发展进行了研究。历史的发展表明，人们开始时对自然界的认识还是片面的。人们总是要把片面的各方面的东西联系起来，作为对自然客观世界的一个总的认识。为了能联系起来未免加上自己的猜想。那时把猜想与科学联系在一起的人大都是哲学家，他们把这一客观世界的科学叫做“自然哲学”。到了19世纪下半叶，出现了科学方面的三大突破：一是细胞学说，所有的生命都是由细胞这个基本单元组成的；二是能量转换，不管什么形式的能量都是互相转换的，能量是不灭的；三是达尔文的进化论，物种的起源为什么是千差万别的，是怎么来的，怎么演变的。由于三个科学方面的突破，自然哲学就逐渐被“自然科学”代替了。

社会科学，可以说是19世纪后期才真正开始的。因为研究社会在马克思、恩格斯以前是不科学的，也可以说是哲学性质的，猜的议论性质的。从历史上可以慢慢看科学的结构是怎样形成的：一是“自然哲学”变到“自然科学”，以后马克思、恩格斯才建立了科学的社会主义，然后又建立了社会科学。把自然科学、社会科学再概括起来，而且是科学的概括，那就是马克思主义哲学。

这段历史给人以启示：科学是从不科学的东西来的。我们都怀着很客观而敬重的心态来看待的“自然科学也曾经是从不那么科学的东西来的”，今天认为是不科学或不那么科学的东西，不要看不起它，将来可能是大科学的来源，这是很重要的。

现代科学体系结构是钱学森从整体上对科学技术体系加以考虑，突破了人们以往对科学技术部门认识的局限性。他接受了著名物理学家普朗克的观点：“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

学是社会学的连续的链条，这是任何一处都不能被打断的链条。”在此基础上他进一步有所创新，构造了包括 11 个技术部门的现代科学技术体系^[10]。

钱学森于 80 年代在中央党校讲课时，首次把原来人们心目中的“自然科学”和“社会科学”两大部门，扩展到八大部门，加上数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、军事科学和文艺理论，形成了一个体系。过了几年又加上地理科学、行为科学。1996 年 6 月又提出建筑科学的设想，在这过程中曾与建筑专家及城市规划专家谈过。总之，现代科学技术体系是基于各门科学研究的对象都是统一的物质世界的认识，区分只是研究的角度不同，这就从根本上拆除了以往各门学科之间仿佛永远不可逾越的中界，也必然使辩证唯物主义与各门科学内在地、紧密地熔铸在一起。

这个体系从纵向分为三大层：最高层是马克思主义哲学。马克思主义哲学、辩证唯物主义是人类一切知识的最高概括；从智慧形成的高度，以“性智”与“量智”来概括各科技部门及文艺活动与美学对人类的“性智”与“量智”两种类型智慧的形成与影响；最下面一层是现代科学技术十一大部门，即自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、地理科学、军事科学、行为科学、建筑科学以及文艺理论与文艺创作；并分别通过 11 座“桥梁”：自然辩证法、唯物史观、数学哲学、系统论、认识论、人天观、地理哲学、军事哲学、人学、建筑哲学和美学，把马克思主义哲学与十一大科技部门联在一起。

在每一大部门中，又分成“基础理论”、“技术科学”及“应用技术”三个层次。在十一大部门之外，还有未形成科学体系的实践经验的知识库，以及广泛的、大量成文或不成文的实际感受，如局部的经验、专家的判断、行家的手艺等等也都是人类对世界认识的珍宝，不可忽视，亦应逐步纳入体系。总之，这一分类法显示出这十一大部门之间本来就有的互相联系、互相促进、不可分割的关系，并揭示了马克思主义哲学与各门具体科学技术必然地、紧密地熔铸在一起的内在关系，形成统一完整的现代科学技术体系。以上所述的现代科学技术体系是钱学森近些年来心血与智慧的结晶，充分体现他的“集大成”的智慧。

1991 年 10 月 11 日，钱学森在接受“国家杰出贡献科学家”授予仪式上的讲话中谈到：“我认

为，今天的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、改造客观世界的整个的知识体系，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，而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”。

5 “人、机结合”出现“新人类”

如何提高人的智慧和能力的问题，有史以来一直为人们所关注，到了信息技术高度发展的 20 世纪，计算机与信息网络的出现，为人类智力的提高奠定了物质基础。与此密切相关的是关于思维规律的研究，包括逻辑思维，也包括其他各种思维过程，形象思维等等。1995 年钱学森把他多年前倡导的思维科学的研究做了界定，他以信息处理的观点阐明了思维科学的基础科学——思维学包括三个部分：逻辑思维，微观法；形象思维，宏观法；创造思维，微观与宏观结合。逻辑思维和形象思维都是手段，创造思维才是智慧的源泉。

人的聪明才智是通过实践、通过学习获得知识，包括经验知识，在脑子里有了大量的知识，再加上利用所存贮的知识，就能够处理和解决各种问题。一个人通过学习获得知识，从小学到大学，进一步到研究生，是一个十分漫长的过程。通过学习获得知识，把知识存在脑中，以及对知识进行处理，是三个重要的环节。从古至今，中外的人们都是走这一条路以培育自己的智慧的。过去由于缺乏工具所以不得不花费很长的时间，通过学习增加知识，并记住所得到的知识。在今后的信息社会中，情况有了根本的改变。计算机的强大本领之一就是能存贮信息，包括存贮知识信息，并能以极快的速度处理信息，再加上目前的一些信息系统，例如用人工神经网络构成的信息系统，就具有根据已有的样本，或者已有的经验进行学习的功能。总之通过智能系统，对人的成长来说，可以用机器来部分取代记忆与学习这两个重要的环节，使人类有可能改变以往成才的途径。

信息革命与现代科学技术体系的形成，将会以人机结合的思维体系取代原来的以个人为主的体系。人脑和计算机都是信息处理的工具，人脑通过经验积累与形象思维，擅长于不精确的、定性的把握；而计算机则以极快的速度，擅长准确的、定量的计算；两者充分发挥各自的优势，又互相结合，再加以综合集成法及从定性到定量综合集成研讨厅

体系在信息网络上实现,既能达到集智慧之大成,又由于通过反馈的作用,来提高人的思维效率,从而增强人的智慧。这是多么了不起的事!从人类的发展来看,“直接提高人的智慧”是人类有史以来的一种美好愿望,以往的历史阶段只是近于梦想,经历信息革命后,这一愿望将会变成现实。

钱学森十分重视对未来人才的培养,他提出了“大成智慧教育”的设想。今天,我国城市的青少年在改革开放的环境中学习、生活,他们除了完成学校里的课程外,从电视机、收音机,以及互联网中可以获得大量的信息,与他们的先辈相比,思维自然会有所差异,学生受正规教育的年限可以大大缩短。现代的人与以前的人相比较,从总的方面来观察与分析,他们的才能增加了。尤其是今后互联网成为人们生活、工作中离不开的工具,人们会变得更加聪明。因为知识体系对人的意识起着积极的作用。在互联网上利用知识体系,也就是用语言(语言实际上是由一串符号表示)和符号表达的知识来提高人的意识;在网上还有不是用语言表示的图像、动画等等也能提高人的意识,并把意识提高到思维。近年来,心理学家们重新发掘出30年代被埋没的前苏联心理学家 Lev Vygotsky 的学说。该学说认为,语言在人的意识中起着中心的作用。人们可以在网络上利用语言来提高人的意识,进而提高人的思维能力。

如果逐步地把现代科学技术体系的建设尽可能地置于互联网上,那就在一定程度上体现 Popper 所说的人类实践累积的知识信息的第三世界,再加上利用综合集成法,以及以互联网为基础的人机结合的研讨厅体系,对信息、知识与智能三者加以处理。例如,利用综合集成法把大量信息加以集成,使之成为知识。目前,从数据库里提炼出知识(KDD)的工作已成为研究的热点,再从大量数据与知识之中,借助综合集成与研讨厅体系,通过三

个世界间的交互作用,使“智慧”涌现出来。

可以预料,“人、机结合”的大成智慧的学术思想为人们所接受后,我国的教育系统必然会有所改变;如果在信息网络上建立起前一章所说的“现代科学技术体系”,其结果将使人类已掌握的与即将掌握的知识与技术能以极其灵活方便的方式为人类所共享;各式各样的智能系统将成为人类亲密而不可离开的工具;人的智慧得以充分发展,人类也跟着改造了。正如钱学森所说:将会出现一个“新人类”,不只是人,是“人、机结合”的“新人类”!

参考文献

- [1] 钱学森. 人体科学与现代科技发展纵横观[M]. 北京:人民出版社,1996. 111,153,405
- [2] 钱学森. 自然辩证法、思维科学和人的潜力[J]. 哲学研究,1980,(4):7~13
- [3] 钱学森. 系统科学、思维科学与人体科学[J]. 自然杂志,1981,(1):3~9
- [4] 钱学森. 关于思维科学[A]. 钱学森主编. 关于思维科学[M]. 上海:上海人民出版社,1986. 13~27
- [5] 钱学森. 现代化、技术革命与控制论[A]. 钱学森,宋健. 工程控制论(修订版)·前言[M]. 北京:科学出版社,1980
- [6] 王寿云,于景元,戴汝为. 我们正面临第五次产业革命[A]. 马洪主编. 跨入新世纪的必由之路[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1998
- [7] 钱学森,王寿云,柴本良. 军事系统工程[A]. 钱学森. 论系统工程[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1982
- [8] 钱学森,于景元,戴汝为. 一个科学的新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J]. 自然杂志,1990,13(1):3~10
- [9] 王寿云,于景元,戴汝为,等. 开放的复杂巨系统[M]. 杭州:浙江科技出版社,1996. 301
- [10] 戴汝为. 从现代科学技术体系看今后智能系统的工作[A]. 许国志主编. 系统研究[M]. 杭州:浙江教育出版社,1996

Qian Xuesen's View on Metasynthetic Engineering

Dai Ruwei

(Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

[Abstract] A brief summary of “metasynthetic wisdom” proposed by famous Chinese scientist Qian Xuesen in recent 20 years is introduced in this article, which includes modern science technology architecture, metasynthesis and hall for workshop of metasynthetic engineering.

[Key words] modern science technology architecture; metasynthetic engineering; metasynthetic wisdom