

## 钱学森对系统科学、思维科学的重大贡献

戴汝为

(中国科学院, 北京 100080)

在国务院、中央军委于 1991 年 10 月授予钱学森“国家杰出贡献科学家”荣誉称号的大会上, 他讲过一段话: “我认为今天的科学技术不仅仅是自然科学工程技术, 而且是人认识客观世界、改造客观世界整个的知识体系, 这个体系的最高概括是马克思主义哲学。我们完全可以建立一个科学体系, 而且运用这个科学体系去解决我们社会主义建设中的问题。”并讲: “我在今后的余生中就想促进这件事情。”

实际上, 钱学森所说的建立一个科学体系的工作, 他早在 20 世纪 70 年代末就开始了, 到目前为止已经形成了一个包括 11 个科学技术部门的现代科学技术体系。这里我们对这个现代科学技术体系中由钱老倡导与开创的系统科学与思维科学两大科学技术部门的情况作一些介绍; 并介绍他把系统科学与思维科学两者的一些构思结合起来, 提炼出开放的复杂巨系统、处理开放的复杂巨系统的方法论——从定性到定量的综合集成法, 以及人机结合、以人为主的从定性到定量的综合集成研讨厅体系, 从而形成“大成智慧”学术思想的来龙去脉。

1954 年, 在钱学森回国前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。《工程控制论》一书获 1956 年中国科学院自然科学一等奖。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, 可是在其他各门

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, 不讨论能量和物质。由此可以看出钱学森早在 1955 年以前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, 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”。

20 世纪 80 年代初, 钱学森组织并参与了系统科学、思维科学和人体科学三个讨论班, 倡导开展思维科学的研究。在此之前, 国防科工委召开了一次很重要的关于大型计算机发展的研讨会; 接着在涿县召开了关于第五代计算机的会议。70 年代, 日本提出了一个国家计划, 叫做模式信息处理计划, 主要是关于语音识别、文字识别、图像识别等的模式信息处理计划。80 年代日本人又提出了知识信息处理计划, 或称为第五代计算机计划。他们声称要把日本的知识信息系统推向世界, 进行一场人工智能对世界的挑战。美国也制定了高性能计算机计划。当时各国都很重视计算机的发展, 因为计算机是一项信息的核心技术。钱学森提出要进行思维科学研究, 不是偶然的, 而是与人工智能、智能计算机等有十分密切的关系。

1980 年他在《中国社会科学》第 6 期发表《从现代科学技术的发展》的文章中提出“思维科

戴汝为: 中国科学院院士, 主要从事自动控制、模式识别、人工智能、智能控制及思维科学的研究。

学”,谈到:“我们要把逻辑学扩大为思维学,包括一部分我们已经研究得很多而且很有成绩的逻辑思维,还要包括其他的人的思维过程.这在国外已逐步地引起重视,他们是从搞机器人、人工智能这方面考虑的,搞人工智能、机器人,就要搞一个人工智能、机器人的理论,这个理论他们叫认识科学(cognitive sciences),我们用‘思维科学’,更确切一点,就是包括逻辑思维,也包括其他各种思维过程,形象思维等.”

后来他在1984年举行的全国思维科学会议上,提出思维科学研究的突破口在于形象思维的研究.1986年他又明确地指出:“思维科学的研究,我仍然以为其突破口在于形象思维学的建立,而这也是人工智能、智能机的核心问题.因此,这也是高技术或尖端科学技术的一个重点.我们一定要抓住它不放,以此带动整个思维科学的研究.”

形象思维是比较难研究的.开展形象思维研究,与模式识别非常有关系.前面说到,cognitive sciences,叫做认识科学.认识是cognition;模式识别是recognition,意思是再认知.心理界把识别叫再认知.举个例子:对于你的一个朋友,先通过你的感官,对他的一些特征了解了,留下了印象,下回你再一见他,你就认识他了.这就是recognition,再认知.我们就叫识别.可见,模式识别跟形象思维是有关系的.

1995年3月,钱学森通过通信的方式,对思维科学的研究作了界定:“我们要进一步分清什么是人体科学,什么是思维科学.现在我想所谓感觉和知觉都是人体科学中神经心理学要研究的领域,而更上一层的所谓感受则是精神学的研究领域.只处理所获得的信息,那才是思维学的研究课题.”

对于信息来说,有信息的采集、信息的传输、信息的处理、信息的储存等等环节,他这里讲得比较清楚:“只处理所获得的信息,那才是思维学的研究课题.”他的观点也是在变的.如果说,认知科学、认知心理学是从信息处理的观点来研究心理学的话,那么,思维科学只考虑信息处理,他把其他划到人体科学的范畴.

“思维学的任务就是研究怎样处理从客观世界获得的信息,包括Popper的‘第三世界’这个非常重要的信息源信息库,以获得改造客观世界的知识.处理可以只是人干,也可以人机结合

(机器干一部分).”这是他多年来对于人机结合问题思考的重要结果.他对思维科学的研究下了如下的界定:“这样看思维学就只有3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.创造思维才是智慧的泉源;逻辑思维和形象思维都是手段.”

总之,思维科学是关于人脑对信息处理的研究,从信息处理的角度看,人脑与电脑相结合是非常自然的,它们都是做信息处理的.人机结合,可以充分发挥人的性智与机器的高性能,这也是钱老的一个非常重要的观点.这个学术思想是很重要的,可以概括为:以人机之结合,集智慧之大成.如果没有从信息处理的角度去研究思维的话,那当然不好说了.更重要的是,将来有了信息网络,普遍地使用信息网络,那么看起来似乎地球变小了,某个地方发生一点事情,地球上其他地方通过信息网络,很快就能知道.坐飞机,一天之内可以达到地球任何一点,而且外界有那么多信息,人慢慢地就变得更聪明了.但是信息太多了,哪些是你要的,哪些是你不要的,仅靠人处理不了,要有智能技术,有些要计算机帮助人去做.如果你需要什么信息,现在研究的agent,所谓的代理者,就可帮你去找.你只要找上几次,它就了解你要找什么,它给你去找.这些也都要研究,这些研究也是与思维科学很有关系的.

1990年,《自然杂志》第一期发表了钱学森的重要文章,题为《一个新的科学领域——开放的复杂巨系统及其方法论》.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“从定性到定量的综合集成法”(Metasynthesis).钱学森认为这个综合集成法实际上是思维科学的一项应用技术.

“从定性到定量的综合集成法”,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,“从定性到定量的综合集成技术”,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”(Metasynthetic Engineering)。

钱学森在提出“从定性到定量的综合集成法”的过程前后有一个明确的观点,即:面对开放的复杂巨系统,这类问题应采取的对策是“人一机结合”、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‘人一机结合’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“人一机”结合作了解释。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。“人一机结合”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”和“量智”与计算机的“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“人一机结合”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“从定性到定量的综合集成”,达到“集智慧之大成”。

1992年,在“从定性到定量的综合集成法”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,汇总了几十年来世界学术讨论的seminar, C<sup>3</sup>/I工作及作战模拟、人工智能、灵境技术(virtual reality)、人机结合的智能系统,及系统学等方面的经验,进一步提出我们的目标是建成一个“‘人一机结合’、以人为本、从定性到定量的综合集成研讨厅体系”,简称“从定性到定量的综合集成研讨厅”(Hall for workshop of Metasynthetic Engineering)。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等像作战指挥厅那样组织起来,成为巨型的“人一机结合”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。

1993年美国提出“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。钱学森一直对信息技术在我国的发展极为关心。1995年6月20日他写信给他的同事们,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,现在也察觉到这会引来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!这定会引起大家对“开放的复杂巨系统”的注意。

(下转第32页)

$$\begin{aligned} & \times \sum_{r \in G_2^1} \prod_{mn} \exp(-\theta \Delta_{mn}) / W_{od} \quad (\text{命题 2}) \\ & = W_{oi} W_{id} / W_{od} \end{aligned} \quad (14)$$

## 6 路径选择率、路段利用率、结点利用率之间的关系

从上面分析可以看出, Dial 分配是一种随机交通量分配模型, 明显地区别于最短路径分配. 如果把它用于 Frank-Wolfe 算法中, 就可以得到随机用户均衡模型的算法. 按照随机分配模型得到的路径交通量具有唯一性. 在获得路段交通量后, 可以用路段-路径间连接关系矩阵求得路径交通量. 或者通过路径选择率、路段利用率之间的关系(2)得到所要需的结果. 另一方面, 如果知道到达某结点的交通量, 通过条件概率关系, 可以得到该点为起点的路段交通量, 用概率形式表示为

$$P_{ij}^{od} = P_i^{od} P(j|i) \quad (15)$$

据此, 这里还可以求得交通流到达结点  $i$  之后, 流向其他任意一个结点  $j$  的可能性. 把(13)和(14)代入(15), 整理得到

$$P(j|i) = P_{ij}^{od} / P_i^{od} = W_{ij} W_{jd} / W_{id} \quad (16)$$

显然, 它是命题 1 一般化以后的形式.

(上接第 3 页)

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, 对因特网(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的项目“支持宏观经济的决策从定性到定量的综合集成体系”, 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“从定性到定量的综合集成研讨厅”建立在 Internet(因特网)的基础上, 做到了研讨不受时间和空间的限制, 使“研讨

## 7 结束语

本文分析 Dial 交通量分配模型, 运用概率原理推导出路径选择率、路段利用率、结点通过率权的表达公式. 不需要增加额外计算量, 只要重复 Dial 算法的两个过程即可实现本文问题的算法. 这里讨论的一个起讫点对之间选择概率问题, 很容易推广到多起讫点对的问题上. 这些选择概率可以应用于交通量分配、交通网络分析、可靠性估计等问题中. 本文假设旅行费用为常量, 如果费用是流量的函数, 本文的选择概率一样可以应用于均衡交通问题.

## 参考文献

- [1] 黄海军. 城市交通网络平衡分析理论与实践[M]. 北京: 人民交通出版社, 1994. 179-207.
- [2] Akamatsu T. Cyclic flows, Markov process and stochastic traffic assignment[J]. TR, 1996, 30B: 369-386.
- [3] Bell M G H. Alternative to Dial's Logit assignment algorithm[J]. TR, 1995, B29: 287-295.
- [4] Van Vliet D. Selected node-pair analysis in Dial's assignment algorithm[J]. TR 1981, 15B: 66-68.

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”.

## 参考文献

- [1] 钱学森等. 论系统工程[M]. 湖南: 湖南科学技术出版社, 1982.
- [2] 钱学森主编. 关于思维科学[M]. 上海: 上海人民出版社, 1986.
- [3] 赵光武主编. 思维科学研究[M]. 北京: 人民出版社, 1999.

(转摘 2001 年《钱学森科学贡献暨学术思想研讨会论文集》)