

钱学森先生时代前沿的“大成智慧”学术思想

戴汝为, 郑楠[†]

(中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室, 北京 100190)

1 引言

钱学森先生享誉海内外, 被中央领导称为“人民科学家”。他既是中国航天事业的奠基人, 中国两弹一星功勋奖章获得者, 更是一个世纪难以出现的具有创新思想的大科学家。人们所熟知的是钱先生对中国航天事业的贡献, 但钱先生自己更看重的是他在学术思想方面的创新性工作。

20世纪80年代初, 钱先生从国防一线退下来后, 把主要精力放在学术研究上, 在系统科学、思维科学、人体科学等方面进行了开创性的研究^[1]。钱先生具有东西方深厚的文化底蕴, 在国内外学术研究和工程实践中积累了丰富的经验。同时, 他博览国内外文献, 其学术思想始终站在科学前沿, 创造性地提出了很多前瞻性的见解。钱先生在多年的科研和领导航天过程的实践中见证了还原论的局限, 验证了整体论的不足, 开创性地建立了还原论和整体论相统一的系统论。

在系统科学、思维科学、人体科学交叉研究的基础上, 1990年, 钱学森先生等人提出了“开放的复杂巨系统”理论以及处理这类问题的“人-机结合、以人为本, 从定性到定量的综合集成法”的划时代的科学方法论^[2], 形成名副其实的一个科学新领域。为了适应20世纪科学技术发展趋势, 钱先生提出了“现代科学技术体系”^[3]的纲领性学说。现代科学技术的发展, 一方面是已有学科不断分化, 越分越细, 新学科、新领域不断产生, 呈现出高度分化的特点, 表现为精细还原的极致; 另一方面是不同学科、不同领域之间相互交叉, 甚至是自然与社会、科学与人文之间的相互融合, 呈现出高度综合整体的趋势^[4]。这两者是相辅相成、相互促进的。时至今日, 信息技术、智能技术的高速发展在为人们和社会带来巨大福祉的同时, 也引发了信息泛滥、数字鸿沟、人机脱节等深刻的理论与现实问题, 从更深层面提出了科技与人文、个人与社会、自然与技术之间的关系问题。这些问题与社会、经济、文化等多个复杂系统相关联, 是典型的开放的复杂巨系统问题, 因而解决思路正蕴涵于“综合集

成法”之中。这一方面说明了综合集成法作为方法论创新的广泛适用性, 另一方面也揭示了其卓越的前瞻性, 证明了综合集成方法论作为当代科学方法论的重要作用。

作为当代科学方法论的“从定性到定量的综合集成法”, 其实质是把各个方面有关专家知识及才能、各种类型的信息及数据和计算机软件、硬件三者有机地结合起来, 构成一个系统^[5]。这个方法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、实现“信息→知识”的层次跃升提供了有效的手段。作为“从定性到定量的综合集成法”的实践形式, 在钱学森先生指导下, 我们创建了“综合集成研讨厅体系”^[6], 在现代信息技术和各种技术手段所支持的环境中, 实现了“基于信息空间(Cyberspace)的综合集成研讨”^[7], 把一个非常复杂事物的各个方面综合起来, 达到对整体的认识, 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。按照钱学森先生的说法, 这是“知识产生体系”。从思维科学的观点深入挖掘, 逻辑思维形成的知识与形象思维所形成的认识, 相互印证、攀升, 经过各领域专家头脑的思考、碰撞, 实际上是形象思维的大幅度泛化, 孕育了创造思维的诞生, 涌现出了新的智慧, 从而实现了“信息→知识→智慧”的跃升历程, 是集个体、领域、不同时期智慧之海纳百川, 引入中国传统文化“集大成得智慧”的观念, 钱学森先生称之为“大成智慧工程”, 同时是应用思维科学技术, 形成“大成智慧”的过程。

2 “人-机结合”的智能科学——“大成智慧”突破人工智能发展的瓶颈

人工智能自20世纪50年代经历了半个世纪的快速发展, 引人注目。但是过于乐观的预期, 遭遇难以克服的瓶颈。20世纪80年代, 对于计算机能否实现人的智能出现了激烈的争论。钱学森先生认为思维科学是人工智能和计算机科学发展的重要理论基础, 提出人工

收稿日期: 2014-08-19; 录用日期: 2014-11-06.

[†]通信作者. E-mail: nan.zheng@ia.ac.cn; Tel.: +86 10-82544766.

基金项目: 中国科学院青年创新促进会资助项目.

智能的发展必须走“人-机结合”的道路, 人的智能的提升也应该靠机器智能的发展, 机器智能也能够扩展人的智能。

钱学森先生在提出“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, 就是: 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、以人为主的综合集成法”, 需要把人的心智与计算机的高性能两者结合起来^[8]。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, 由此构成“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“从定性到定量的综合集成”, 达到“集智慧之大成”^[9]。

在从事人工智能的研究中, 我们应用思维科学中形象思维的研究成果, 发挥形象思维泛化的作用, 在采用“人-机结合”在模式识别技术中取得重要进展后^[10], 于1994年提出“人-机结合”的智能科学^[11], 突破了当时“人工智能”的瓶颈, 从而把信息时代计算机的作用从科学发展的里程中引进智能科学, 成为当时争相开展的学科领域。这样, 既把钱学森先生关于“思维科学是智能计算机的理论基础”的论断科学地体现出来, 同时, 把人工智能的研究提升到智能科学的高度, 把“人-机结合”的思维科学思想嫁接到智

能科学的研究, 开创了“人-机结合”研究的新领域^[12]。这一学术思想的创新观点, 为美国十年后的人工智能研究的发展所证明。

3 社会智能科学——自然与人文融合研究, 个体与社会可持续发展的“大成智慧”

当今自然与人文互相影响、社会与个人相互交织, 这种多重交互所呈现出来的智慧, 作为群体和环境交互所涌现出来的智能, 一方面证明人的智慧与所处的环境不可分割; 另一方面, 如果上升到人类社会, 那么也必然要研究“社会思维”与其紧密相联系的“社会智能”。人类智慧的社会化进程日益明显, 应用从定性到定量的综合集成法所获取的知识、智慧, 及其服务对象, 更加凸显其广泛的社会性。这样伴随着现代信息技术、网络空间和机器智能的共同发展, 呼唤着一个新的学科。

我们分析、归纳了钱学森先生在这些领域的论述, 印证了“社会智能”的形成与发展, 结合在钱先生指导下“基于信息空间综合集成研讨体系”所取得的理论研究成果, 进一步经过工程实践, 将“综合集成研讨体系”成功应用于经济领域、军事领域以及信息处理领域, 形成了在不同领域所涌现的“社会智能”。在整理从理论论述到实现可操作平台、再到社会实际领域运用实例的基础上, 我们于2007年撰写出版了《社会智能科学》^[13]一书。从而把“社会智能科学”作为一门新兴学科置于科学技术界的视线。从学科交叉的观点, 开放的复杂巨系统包括人脑系统、人体系统以及Internet、城市系统、社会经济系统等, 这类系统的特点就是涉及“人”, 以及人与人的群体, 并以此作为系统中的基本单元。开放的复杂巨系统的提出及《社会智能科学》的形成, 成为人文科学与自然科学交融在21世纪的开篇之一, 继而引起一些学者的讨论和重视, 根据可持续发展的需要, 逐步展开了“社会智能工程”应用的一些领域。

综合集成研讨厅即为综合集成法的一种应用技术, 是可操作智能工程平台的一种实践形式, 研讨厅汇集了古今中外专家的智慧, 通过知识工程里的专家系统将其综合集成起来。研讨厅体系除了汇集了古今中外专家的智慧, 还具有动态性, 随时吸收互联网上广大网民的智慧成果, 集大成得智慧, 形成相对最为合理的解决方案^[14]。研讨厅体系所涌现的“社会智慧”, 使得研讨厅体系成为社会智能的产生系统。社会分工越来越趋于细化, 使得我们可以通过“交互”来获得更加高效、更好的信息。当系统变得很大时, 通常会超过单个个体的掌控能力, 系统将分化、分裂, 子系统间的“交互”也成为必然。这也从一个侧面说明单个个体智慧是有限的, “交互”是个体智慧的扩展, 是“社会智慧”涌现的重要过程, 也是“社会智能工程”应

用的主要领域.在当今社会条件下,科学地、及时地、准确地处理纷繁复杂的社会问题需要的是“人-机结合、以人为本”所涌现出的“社会智慧”,而“社会智慧”正是群体的创造性思维的体现.由此可见,“综合集成方法论”及其实践形式,正是当前可持续发展的观点下解决人类面对的现实问题的科学手段.

4 “大成智慧”为智慧城市建设提供科学的总体设计

智慧城市决定了未来城市的核心竞争力.截至2012年10月,我国95%的副省级以上城市、76%的地级以上城市,总计220多个城市提出或在建智慧城市,超过80%的城市在“十二五”期间将智慧城市作为加快经济发展转型的战略导向,作为产业预测,“十二五”期间计划投资规模超过万亿元^[15].去年,住建部公布193个国家智慧城市试点名单,入围其中的许多城市都提出了各自的智慧城市建设计划.许多从业人员认为,“成为智慧城市试点,不但可以得到政策扶持和补助,同时也可以以此为契机,大力推进相关设施建设,带动城市经济增长”.在投入巨大人力、物力之后,面对“智慧城市”纷纷扬扬的各种现象,一些有识之士进行反思.有研究人员指出:真正能够体现智慧城市内涵,以及智慧城市建设最基础内容的,目前一个也没有看到^[15].作为风向标的媒体也就这一情况展开讨论,发表了不少领域专家的卓识.认为目前仍处于概念梳理与理论争鸣的阶段,在当前的背景下,有必要开展智慧城市建设方案及方法方面的研究^[16].尤为重要的是,对于智慧城市的建设,应该建立在科学、适宜、可持续发展的理念之上,进一步提出实用化的操作平台,其产业化研究成果将为推动我国智慧城市建设提供决策支持.

回顾智慧城市发展的历程,2008年IBM首先提出Smarter Planet的愿景,希望地球获得更透彻的感应和度量,更全面的互联互通,更深入的智能洞察.紧接着于2009年,IBM又提出Smart City的愿景,引领城市通向繁荣和可持续发展.国内将Smart City展开译为“智慧城市”,现在看来具有更深层次的寓意.我国的城市建设一直以来沿着国外的思路发展,例如“数字城市”、“城市信息化建设”等,这是城市建设过程中智能化程度的不断推进的标志.我国当前所提出的建设“智慧城市”的内涵,正是中国建设社会主义、发展城镇化、践行社会主义核心价值观的体现.社会主义核心价值观为智慧城市注入了灵魂,社会主义核心价值观体现的正是中华民族屹立于世界之林的“大成智慧”.

目前国内外对于智慧城市的研究,多忽略城市的系统特征,在方法论上以技术路线和应用路线为主,认为从数据出发,存在着一“数据→信息→知识→

智能→智慧”的链条.前者主张大数据、物联网、云计算等技术手段的大规模应用;后者则强调构建智能化的系统,例如智能能源系统、交通系统、建筑系统等,希望直接由智能应用系统获得城市智慧.但是对城市本身的历史、地域、社会、人文、结构、演化、发展定位、功能预后等方面研究较少,在许多情况下,使得智慧城市建设经常表现为单纯的工程应用项目.也有些学者和实践者提出了系统路线,但是研究尚不深入,难以打通理论与实践之间的路径.

城市由于组成部件多(常包括数以百万、千万计的居民和机构,大量的基础设施、个人与公共财产等)、部件之间的关系错综复杂(部件存在分层关系,但是层次又经常是模糊的,在层次之内、层次之间存在着大量繁复的关系,甚至存在跨越多个层次的关系,关系的类型多种多样,例如:血缘、地域、业务、经济等)、居于多样化的环境之中(例如:自然环境、政治环境、经济环境、人文环境、技术环境)且与环境存在物质、能量、信息的交换,因而属于开放的复杂巨系统^[17],应用处理开放的复杂巨系统的方法论——综合集成法和综合集成研讨厅体系来处理智慧城市的建设问题.在开放的复杂巨系统理论和综合集成法的指导下,我们首先从系统动力学的角度,研究城市的动力学^[18],即城市发生、发展、结构与功能演化的一般规律,把智慧城市的建设视为城市结构与功能的综合优化问题,利用综合集成法,探究在自然环境、经济环境、文化习俗、生活习惯的约束下,新的技术条件、城市建设方法能为城市结构带来哪些优化,从而促使城市表现出预期的功能,实现城市运行与发展的智慧化.智慧城市作为一个开放的复杂巨系统工程,是一个科技与人文融合、技术与经济交汇、人类社会与自然环境和谐互促的多方位、多维度体系,必须集大成方能体现城市智慧^[19-20].

5 结束语

人民科学家钱学森先生的一生,在中国乃至世界科技发展史上具有重要的作用.20世纪50年代即为美国绘制了喷气航空发展的前景,冲破阻碍回到祖国,创造性地为新中国的航空、航天事业规划了崭新的蓝图.他高屋建瓴,20年前就前瞻性地预示了科学发展的新领域和新方向,开创性地提出了解决开放的复杂巨系统的方法论——“人-机结合、以人为本,从定性到定量的综合集成法”.二十年来,我们研究团队始终追随、践行和发展着钱先生的系统科学思想,在国家经济、安全等领域的科学研究和工程实践中不断验证和发扬钱先生的科学思想及科学体系,运用和发展“大成智慧”学说,搭建“大成智慧工程”,解决当今社会面临的各类复杂社会问题.2008年胡锦涛总书记视察我军某重要战略研究与支撑机构,在仔细观看

了由我们团队与该机构合作研制的“战略决策综合集成研讨系统”的作业演示后,称赞采用综合集成研讨方法深入研究重大现实课题很有意义,希望相关单位把该系统建设好、管理好、运用好,使之发挥应有的作用。从“重大原始性创新的曙光”到“国家层面的战略性应用”,体现的是长达二十年的综合集成研究过程所获得的丰硕成果。这既是钱学森等老一代科学家广阔的科学视野和卓越的学术创新能力的直接体现,也是自动化地开展综合集成体系研究的实践成果。

今年年初,习近平总书记提出我国全面改革的总目标^[21],习主席强调全面深化改革是一项复杂的系统工程,需要加强顶层设计和整体谋划,加强各项改革关联性、系统性、可行性研究。体现了他运用、深化和发展“系统科学”的成果,指出系统科学的研究、应用和普及推广是重中之重的任务。社会主义核心价值观的提出体现了时代赋予智慧城市崭新的核心。回顾过去,展望未来,从理论框架到重大曙光,再到战略应用,综合集成之“大成智慧”学术思想必将为我国的社会发展和科技进步做出更大的贡献。

参考文献(References):

- [1] 钱学森. 系统科学, 思维科学与人体科学 [J]. 自然杂志, 1981, 1(3): 3-9.
(QIAN Xuesen. System sciences, noetic sciences and human sciences [J]. *Nature Journal*, 1981, 1(3): 3-9.)
- [2] 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域: 开放的复杂巨系统及其方法论研究 [J]. 自然杂志, 1990, 13(1): 2-10.
(QIAN Xuesen, YU Jingyuan, DAI Ruwei. A new discipline of science: the study of open complex giant system and its methodology [J]. *Nature Journal*, 1990, 13(1): 2-10.)
- [3] 钱学森. 现代科学的结构——再论科学技术体系学 [J]. 哲学研究, 1982, 3(2): 19-22.
- [4] 钱学森. 交叉科学: 理论和研究的展望 [J]. 中国机械工程, 1985, 1(3): 46-46.
- [5] 钱学森. 再谈开放的复杂巨系统 [J]. 模式识别与人工智能, 1991, 4(1): 1-4.
(QIAN Xuesen. Open complex giant system [J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 1991, 4(1): 1-4.)
- [6] 戴汝为, 操龙兵. 综合集成研讨厅的研制 [J]. 管理科学学报, 2002, 5(3): 10-16.
(DAI Ruwei, CAO Longbing. Research of hall for workshop of meta-synthetic engineering [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2002, 5(3): 10-16.)
- [7] 戴汝为. 论信息空间的大成智慧 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2007.
- [8] 戴汝为. “人机结合”的大成智慧 [J]. 模式识别与人工智能, 1994, 7(3): 181-190.
(DAI Ruwei. Metasynthetic wisdom of man computer cooperation [J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 1994, 7(3): 181-190.)
- [9] 戴汝为. 系统科学与思维科学交叉发展的硕果——大成智慧工程 [J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(5): 8-11.
(DAI Ruwei. A result of system sciences and noetic sciences cross development—metasynthetic Engineering [J]. *Systems Engineering-theory & Practice*, 2002, 22(5): 8-11.)
- [10] TAI J W, LIU Y J, ZHANG L Q. A model based detecting approach for feature extraction of off-line handwritten Chinese character recognition [C] // *Proceedings of the Second International Conference on Document Analysis and Recognition*. Tsukuba Science City, Japan: IEEE, 1993: 826-829.
- [11] 戴汝为. 智能科学与工程(人机的结合) [C] // 北京中国科学院第七次院士大会学术报告摘要汇编(预印本). 北京: 中国科学院, 1994: 45-50.
- [12] 钱学森, 戴汝为. 论信息空间的大成智慧: 思维科学、文学艺术与信息网络的交融 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2007.
- [13] 戴汝为. 社会智能科学 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2007.
- [14] CAO L B, DAI R W, ZHOU M C. Metasynthesis: m-space, m-interaction, and m-computing for open complex giant systems [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 2009, 39(5): 1007-1021.
- [15] 王珊. 智慧城市建设需要“大智慧” [N]. 中国科学报(A1版), 2013, (5920).
- [16] 戴汝为. 智慧城市“建设热”的冷思考 [N]. 中国科学报(A1版), 2014, (6131).
- [17] 戴汝为. 数字城市——一类开放的复杂巨系统 [J]. 中国工程科学, 2005, 7(8): 18-21.
(DAI Ruwei. Digital city—an open complex giant system [J]. *Engineering Science*, 2005, 7(8): 18-21.)
- [18] 唐恢一. 城市学 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2008.
- [19] 郑楠, 王丹力. 以“综合集成决策”应对巨灾 [N]. 中国科学报(A3版), 2012, (5626).
- [20] 郑楠, 王丹力. 以“社会智慧”处理城市问题 [N]. 中国科学报(A3版), 2012, (5650).
- [21] 完善与发展中国特色社会主义制度, 推进全国治理体系与治理能力的现代化 [N]. 人民日报(A1版), 2014, (23964).

作者简介:

戴汝为 (1932-), 男, 1951年考入清华大学, 1955年毕业于北京大学, 后分配到中国科学院工作至今, 师从著名科学家钱学森, 长期从事自动控制、系统科学、思维科学、模式识别、人工智能等方面研究工作, 1980年作为国家首批派出赴美访问学者师从著名模式识别大师傅京孙(K. S. FU)教授, 1991年当选中国科学院院士, 几十年来, 在钱学森先生的直接指导下, 在某些前沿科学领域进行交叉学科的整合与研究, 在我国经济、军事及社会发展领域重大问题决策中, 发挥了重要作用, E-mail: ruwei.dai@ia.ac.cn;

郑楠 (1984-), 女, 博士, 副研究员, 2012年毕业于中国科学院自动化研究所, 获博士学位, 目前主要从事智能系统、信息处理、网络挖掘等领域的研究, E-mail: nan.zheng@ia.ac.cn.