

编者按 2009 年 10 月 31 日, 我国“两弹一星”元勋, 两院资深院士钱学森因病在京逝世. 20 世纪 80 年代初, 曾任两届中国自动化学会理事长, 身肩国家要职与民族重任于一身的钱学森先生组织并亲自参与了系统学、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, 并撰写出版了著名的《关于思维科学》一书. 为表达对钱学森先生的深切怀念, 本刊特邀参与当年思维科学研究并负责思维科学讨论班的戴汝为院士, 撰文介绍国内开创思维(认知)科学的发展历程及创新思想. 期待通过本文, 我刊广大读者得以充分认识和了解这一与计算机技术、信息技术及人工智能的飞速发展密切相关的重要学科, 及其对我国现代科学技术体系所产生的深远影响.

思维(认知)科学在中国的创新与发展

戴汝为¹ 张雷鸣¹

摘 要 介绍钱学森先生在中国开创思维(认知)科学的历程及其主要学术思想, 概要介绍了思维学、思维系统工程的研究, 分析了形象思维、社会思维在思维(认知)科学研究中的重要作用, 探讨了思维科学与认知科学研究的互相关联并对其共同发展进行了展望.

关键词 思维科学, 认知科学, 形象思维, 社会思维, 群体智慧

DOI 10.3724/SP.J.1004.2010.00193

The Creation and Development of Noetic (Cognitive) Science in China

DAI Ru-Wei¹ ZHANG Lei-Ming¹

Abstract In this paper, we introduce QIAN Xue-Sen's experience of pioneering the study of noetic (cognitive) science in China and his main scientific ideology. We briefly review the study on noetic science and noetic systems engineering and analyze the important role played by imagery thinking and social thinking in the study of noetic (cognitive) sciences. Finally, we discuss the interconnection between noetic science and cognitive science and present the prospect of their common development.

Key words Noetic science, cognitive science, imagery thinking, social thinking, collective intelligence

钱学森先生, 除了是人们熟知的“两弹一星”元勋外, 在构建现代科学技术体系, 完善系统科学、创建思维(认知)科学、人体科学等领域也作出了重大的贡献.

现代科学技术体系结构从哲学的高度, 涵盖了自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学等科学技术部门, 显示出它们之间普遍联系、互相促进、完整一体的关系, 体现了从工程技术、科学、哲学的不同层次的多学科、跨领域之间的交叉融合. 只有像钱先生这样拥有渊博的知识和广泛的兴趣爱好, 对科学研究有扎实功底和深厚造诣, 同时又具备“两弹一星”的雄厚的工程实践和组织管理经验, 才能高度概括时代的科学技术发展. 他在系统科学

领域的三个层次都作出了巨大贡献, 前瞻性地提出开放的复杂巨系统及其方法论, 在复杂性科学成为新世纪面临的主要问题和研究热点中走在国际的前列. 更重要的是, 他始终关注与实践密切结合的可操作性, 面对当前科技与人文交融, 自然与社会面临发展, 他在系统科学、思维(认知)科学、复杂性科学的交叉融合基础上, 创造性地提出了“从定性到定量的综合集成法”, 成为解决这一类问题的科学方法论.

本文介绍钱学森先生在中国开创思维(认知)科学的发展历程及其主要学术思想, 概述了思维学、思维系统工程的研究, 分析了形象思维、社会思维在思维(认知)科学研究中的重要作用, 最后探讨了思维科学与认知科学研究的互相关联, 并对它们的发展进行了展望.

1 开展思维(认知)科学研究是信息时代的要求

追溯历史, “思维科学”这一概念最早是由叶青在 1931 年的一篇题为《科学与哲学》的文章中提出. 他把自然、社会和思维三种现象放在同一层面上进

收稿日期 2010-01-22 录用日期 2010-02-02
Manuscript received January 22, 2010; accepted February 2, 2010

国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2007CB311007)资助
Supported by National Basic Research Program of China (973 Program) (2007CB311007)

1. 中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学实验室 北京 100190
1. Key Laboratory of Complex System and Intelligence Science, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

行了严格的界定,指出自然、科学和思维的根本区别在于“自然现象是不经过人的行为就已经存在的,社会现象是要经过人的行为才能够存在的,思维现象是未经过人的行为的因而未外化成事实的观念作用和观念形态”。所以从研究对象来看,自然科学、社会科学和思维科学有本质的区别。作为人的观念作用与观念形态的思维现象,与自然现象和社会现象相比,是“未经过人的行为”,因而也就成了“未外化成事实”的存在了。他认为,思维科学不仅有自己明确的研究对象,而且不久将会与自然科学、社会科学鼎足而立。

恩格斯(Engels)曾说:“每一个时代的理论思维,都是一种历史的产物,它在不同的时代具有完全不同的形式,同时具有完全不同的内容。因此,关于思维的科学,也和其他各门科学一样,是一种历史的科学,关于人的思维的历史发展的科学。”那么,我们当前时代的理论思维,关于思维的科学又是什么呢?20世纪80年代,钱学森开创思维(认知)科学的研究正是对此问题作出的回答。

思维科学是处理意识与大脑、精神与物质、主观与客观的科学,是现代科学技术体系中与自然科学、社会科学等平行的一大科学部门,其产生、发展和研究的推动力与计算机技术、信息技术、人工智能的飞速发展密切相关。20世纪70年代,日本提出了模式信息处理系统计划(Pattern information processing system project, PIPSP),其核心是发展语音、文字、图像等模式识别技术,解决计算机与人类活动的环境直接通信的问题。到20世纪80年代,日本进一步提出了知识信息处理系统计划(Knowledge information processing system project, KIPSP),或称为“第五代计算机”计划,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。由于计算机是关键的信息核心技术,一时间各国都重视,美国随后制订了高性能计算机计划,我国也在863计划的信息领域中设定了智能计算机项目(即306主题),并成立了相关专家组。当时提出要进行思维(认知)科学研究,正是与人工智能、智能计算机、模式识别技术等的进展有直接关系,是要为这些科学技术建立理论基础。

2 早期国内对思维学的研究

钱学森提倡开展思维(认知)科学的研究与他年轻时在麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)和加州理工学院(California Institute of Technology, CIT)学习工作经历有很大的关系。他在1991年4月做“关于人-机智能系统”的谈话时认为,MIT在20世纪60年代的贡献是培养出一批工程师,在技术科学和工程之间搭了

一座桥梁,所以后来全世界都学MIT。而CIT的贡献则是在上世纪20年代培养出一批工程师加科学家的人才,比MIT培养的人高明一些。此外,他发现发达国家中成功的科学研究中心,都有所谓讨论班(Seminar),他在CIT也有幸参加过这种活动,印象很深。后来,他回顾自己最幸福的时刻:一是在美国Pasadena参加导师冯·卡门(T. V. Karman)主持的讨论班;二是60年代末在北京人民大会堂参加周恩来总理主持的“中央专家委员会”会议。¹究其原因,都是高度民主的气氛,不管与会者的身份、地位,大家一起畅所欲言参与讨论,所以思想活泼。1984年他推动召开了全国思维科学讨论会,提出思维科学研究的重要性,随后在国内组织了系统学、思维科学、人体科学三个讨论班,以这一形式积极推动三门学科的交叉研究和发展,并先后发表了数篇重要论文和讲话^[1-4]。

思维(认知)科学的基础科学是思维学,主要研究人有意识思维的规律,它又可细分为抽象(逻辑)思维学、形象(直感)思维学和创造思维学三个组成部分。其中,创造思维是智慧的源泉,抽象(逻辑)思维和形象(直感)思维都是实现手段。思维学中目前只有抽象(逻辑)思维研究较为深入,已经有比较成熟的逻辑学,而形象(直感)思维和创造思维研究工作相对较少,还缺乏科学的归纳。

创造思维是实现创新的内在机制和深层动力,贯穿了创新过程的多个层面。胡锦涛主席在《坚持走中国特色自主创新道路,为建设创新型国家而努力奋斗》一文中强调“自主创新能力是国家竞争力的核心”。因此,我们应当加大力度研究创造思维,这对未来提高我国自主创新能力和提升创新意识,有深刻的理论意义和重大的实践价值。

除了思维学之外,钱学森还将信息的研究列入思维的工作对象。信息是人为了认识事物的需要,从物质运动概括出来的。对于信息的研究最早是从通讯技术入手的。美国科学家香农(Shannon)在20世纪40年代提出通讯信道中信息传递理论,开始有了对信息的准确计量。后来信息的研究受到控制论的影响,形成了信息论。由于信息是接受者必须知道如何提取,它才存在。因此,研究信息和信息过程的学问——信息学,成为了思维(认知)科学中另一门基础科学。

3 形象(直感)思维是思维(认知)科学的突破口

思维(认知)科学研究的突破口在于形象(直感)思维,这是钱学森在斯佩里(Sperry)“开发右脑”学

¹钱学森致戴汝为信件,1993年4月10日。

说的基础上, 于 1984 年的全国思维科学讨论大会上提出的. 斯佩里是加州理工学院教授、神经心理学家. 1954 年他证明了大脑两半球的功能具有显著差异, 提出了两个脑的概念, 并荣获了 1981 年诺贝尔生理学或医学奖. 作为上世纪 50 年代同在 CIT 工作的同事, 研究兴趣广泛的钱学森受到了斯佩里研究的启发, 在那时开始思考人的思维问题. 这一思考脉络一直延伸到上世纪 80 年代, 他在国内正式提倡开展思维 (认知) 科学的研究. 应当说, 斯佩里的工作, 特别是以形象思维作为主要思维方式的右脑的发现, 给了钱学森很大的启示. 他在 1986 年 9 月给作者之一的信中指出: “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.”

此外, 我国哲学家的一些观点对认识形象思维也有帮助. 熊十力将人的智慧称为心智, 心智又分成两部分, 一部分叫 “性智”, 另一部分叫 “量智”. “量智” 是通过对问题的分析、计算, 通过科学的训练而形成的智慧. 人们对理论的掌握与推导、用系统的方法解决问题的能力都属于量智, 是抽象 (逻辑) 思维的体现. “性智” 是一个人把握全局, 定性进行预测、判断的能力, 是通过人脑的信息处理获得的那种直感, 是形象 (直感) 思维的结果, 人们对艺术、音乐、绘画等方面的创作与鉴赏能力等都是形象 (直感) 思维的体现. 钱学森在熊十力的观点基础上, 进一步指出: “性智” 又可分两层, 低一层是以形象为基本的, 可以称为 “象智”, 高层的才是 “性智” (如图 1 所示)².

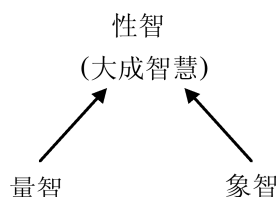


图 1 量智、象智和性智的关系

Fig. 1 The relationships among quantitative intelligence, imagery intelligence and qualitative intelligence

形象 (直感) 思维是比较难以研究的, 但是开展形象 (直感) 思维的研究可以使模式识别 (Pattern recognition) 得到突破性的发展^[5]. Cognitive science 被称为认知科学. 认知是 Cognitive, 识别是 Recognition, 所以心理学界一部分学者也称识别为再认知. 人进行模式识别的过程是形象 (直感) 思维的主要内容之一^[6], 在认知过程中, 人首先建立一种

心理意象, 当再看见这个东西, 两者能匹配, 就再认了. 这是最简单的思想. 这种匹配可以从研究思维得到启发: 它是那么灵活, 怎么能够通过机器实现? 机器做起来很死板, 只有通过抽取特征. 这种模式有什么特征, 抽取出来, 由特征构成一个简要的模式, 这样进行匹配.

在探讨形象思维的过程中, 钱学森与作者之一曾以 “对联” 为研究对象, 做过一些相关研究工作. “对联” 是中华民族独创的一种文学形式, 钱学森认为 “对联” 与人的形象思维有关, 他指出: “从思维学角度看, 对联的过程是: 出联的上联是给出一个结构, 请应联的下联人按此给定结构去找零件, 字、词填入这个结构, 思维就在于搜索思想库找材料. 这就是对联答对联的思维学——搜索入结构.”³ 他认为形象 (直感) 思维与答对联正好相反, 有材料, 但无结构. 思维的任务是找形象, 即结构. 因此, 他指出应当利用好中国几千年的古老文学作品, 从思维学的角度去研究.

4 对思维 (认知) 科学的重新界定及扬起一面旗帜

思维 (认知) 科学到底研究哪些内容? 钱学森指出应当分清什么是人体科学, 什么是思维科学. 他认为感觉和知觉都是人体科学中神经心理学要研究的领域; 而更上一层次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”⁴.

对于信息来说, 有信息的采集、信息的传输、信息的处理、信息的存储等等环节. 思维学只考虑信息处理, 其他都属于人体科学的范畴. 在处理的方式上, 他认为 “处理可以只是人干, 也可人机结合”. 而进一步伴随着 Internet 的普及, “Cyberspace” (数字空间或信息空间) 越来越融入到人们的工作和生活中, 他认为 Cyberspace “是人机结合的思维思想活动世界, 似可称为 ‘智慧大世界’, 简称 ‘智界’ ”⁵.

1987 年, “图灵奖” 获得者、认知科学大师司马贺 (H. Simon) 教授到中国讲学时, 曾于 6 月 24 日给钱学森写过一封信, 通过中国科学院心理所所长荆其诚转交给钱学森. 信中谈到: “我所熟悉的大多数认知科学家对于超越感官感知 (Extra sensory perception, ESP) 认为是不可知的, 但是对有些情况, 像所有不可知那样, 经过长时期, 通过证据加以解决, 我了解您本人的兴趣在于创造思维以及形象思维, 这两个题目也是近年来我自己进行的中心研究问题.” 在信的最后, 他提出希望在认知科学方面,

³钱学森致戴汝为信件, 1994 年 9 月 18 日.

⁴钱学森致戴汝为信件, 1995 年 3 月 16 日.

⁵钱学森致戴汝为信件, 1995 年 2 月 2 日.

²钱学森致戴汝为信件, 1993 年 1 月 25 日.

在中国及国际方面飘扬起独一面旗帜。随信还附赠一本由科学出版社出版的他的专著《人类的认知——思维的信息加工理论》。不过,由于当时钱学森还在国防科学技术工业委员会工作,不方便与司马贺会面,两人遗憾地擦肩而过。但是,钱对这封信很重视,将信转给作者之一,使作者有机会从二位大师的观点学习获益,从中汲取营养,得到启发,应用于认知科学领域的研究工作中。

5 思维的系统观与思维系统工程

众所周知,钱学森在多个学科的开创与发展中作出了突出贡献,并且在研究工作中始终体现学科交叉的思想。系统科学是他的另一项代表性工作,按照科学技术体系的三个层次划分:工程应用层次,具有代表性的各种系统工程;技术科学层次,其《工程控制论》是国际上享有盛誉的经典著作^[7];基础理论层次,具有里程碑意义的代表作是《创建系统学》一书^[8],书中提出了开放的复杂巨系统及处理这类问题的方法论——以人为主、人机结合、从定性到定量的综合集成法^[9]。并从学科交叉与融合的角度指出,“从定性到定量的综合集成研讨厅体系”处于思维(认知)科学的工程应用层次,创立并发展它,将为思维(认知)科学的技术科学层次和基础科学层次(思维学)提供营养。

他进一步提出思维的系统观^[10]:“以逻辑单元思维过程为微观基础,逐步构成单一思维类型的一阶思维系统;解决课题的二阶思维开放大系统;然后是决策咨询高阶思维开放巨系统。这就是思维的系统观,是系统科学方法在思维科学中的应用。”⁶即从思维的类型看,要解决一个课题,即使是比较简单的课题,单靠一种思维系统如抽象思维是不够的,至少要用形象(直感)思维与抽象(逻辑)思维的配合。所以解决一个课题的思维是更高层次的二阶思维系统;从思维的过程看,要能解决一个课题必须依靠各种知识和信息,而且要在思维过程中不断提供知识和信息,所以用系统科学的术语来表达,上述系统属于开放系统的范畴。至于咨询和决策工作,要解决的、要作出回答的问题更不是单一的课题,而是课题群,并且是有相互关联的课题群。参与问题研究的也不是一个人、两个人,而是一个专家集体,有几十甚至更多的人。这种思维过程必然非常复杂,其规模比思维大系统还要大,用系统科学术语来说,就是思维巨系统,也就是更高阶次的思维系统。建立和开动这样的开放思维巨系统,就是思维系统工程。思维系统工程的目的是实现社会思维,涌现群体智慧。

20多年来,思维(认知)科学进一步结合人工智能、计算机科学和复杂性科学的研究成果,综合

成为人机结合的智能科学的研究,在国内外开展起来^[11-15]。

6 社会思维与群体智慧

社会思维是指人作为社会整体对客观现实的认识,它是在整个社会时间、社会关系的基础上,无数个人思维和各种群体思维交互作用、多元复合的观念体系。从思维主体范围的角度来看,社会思维包括个人思维和群体思维。群体思维是以若干思维个体组成的群体作为思维主体形成系统的特有功能,从而产生单个个体所不能达到的整体思维能力。钱学森认为:“社会思维是多个大脑在信息网的联通下,形成比单个大脑更复杂、更高层次的思维体系。如果说形象(直感)思维是并行多线交联思维,那社会思维更是如此。”⁷因此可以说,群体思维是在个体思维差异之合理配合的基础上,充分发挥各自优势,通过思维互补形成总体思维功能的思维方式。它能够综合个别主体之长,弥补个别主体之短,它既能形成一种个别主体所没有的新的认识能力^[16],又能使群体中诸个体的认识能力得以扩大。如此反复促进,就形成了整体智慧,它给我们带来了新的扩大了的认识能力。

社会思维学正是一门研究人作为集体来思维的规律及其与集体思维的相互关系、相互作用的科学。钱学森在倡议建立思维(认知)科学的过程中指出:“社会思维学要研究人作为一个集体来思维的规律以及它与集体的相互关系、相互影响。在思维科学中的基础科学里,也研究集体和集体创造出来的精神财富对于一个人思维的作用。那么,反过来说,个人生活在社会里,它对于社会的集体也有作用、也有贡献。因此,我们要研究个人跟集体和集体创造精神财富在思维方面的相互作用”。当群体处于这样的思维状态下,就会使思维能力大大提高,从而发挥其前所未有的水平,使思维的结果实现跨越,涌现出群体智慧,而实现这种群体智慧有赖于综合集成的科学。他把社会思维学融入到从定性到定量的综合集成法,并进一步在系统科学、思维(认知)科学、人体科学的研究与实践的基础上,发展为“以人为主、人机结合、从定性到定量的综合集成研讨厅体系”^[17],充分体现了人机结合的思想,综合了信息空间中的群体智慧^[18]。

7 思维科学与认知科学的关系

在中国,钱学森作为思维科学的倡导者,与认知科学的研究者不同,他具有控制论和系统论的理论背景,在科学相关知识上功底扎实、造诣深厚,又同

⁶钱学森致戴汝为信件,1988年1月1日。

⁷钱学森致戴汝为信件,1987年8月3日。

时具备“两弹一星”的工程实践经验,这使得他所倡导的思维科学较之认知科学在层次上更加广泛,更时刻关注与实践密切结合的工程可操作性。

他最初曾建议思维科学的英文译为“Cognitive Science”^[4],并在1983年6月给作者之一的信中说:“国外的 Cognitive science 的确比我们的思维科学窄,但我想来想去,还是用这个词,但扩大其内含变成我们的思维科学。”后来,考虑到这样做容易产生混淆,1986年他指出:“思维科学是非常重要的,似应译为 Noetic sciences,是处理意识与大脑、精神与物质、主观与客观的马克思主义科学。”⁸他这样做不是没有理由的,因为尽管思维科学和认知科学有许多共同之处,但它们之间的差异也是不容忽视的。

与认知科学相比较,思维科学不仅是一个学科群,而且还是一个与自然科学和社会科学平行的科学技术大部门,它具有以下三个有别于认知科学的特点:^[19]

1) 思维科学内部划分为三个层次——基础科学、技术科学和工程应用,并以认识论为桥梁与哲学相联系。

2) 就所包含的已有学科或学科分支而言,思维科学与认知科学也不尽相同。特别值得注意的是,心理学和脑神经学被排除于思维科学之外,这是从当前科学技术水平出发,立足于建立中国自己具有实践意义的现代科学技术体系来考虑。这样,可以将更多的工程技术列入到思维科学中来。换言之,钱学森更倾向于思维科学的实践和应用,而不是在哲理思辨以及广无止境的探索中漫游。

3) 思维科学还预言了有待建立的新学科——作为基础科学的形象(直感)思维学;作为智慧的涌现的创造思维学;作为体现群体智慧的社会思维学以及在人工智能的研究的基础上建立人机结合、以人为主的智能科学等等。他在1988年1月给作者之一的信中谈到思维学、思维工程以及指导思维工程的技术科学思维系统学三者之间的关系,如图2所示。

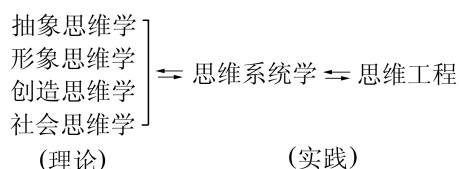


图2 思维学、思维系统学、思维工程之间的关系

Fig. 2 The relationships among the noeticology, noetic systematology and noetic systems engineering

上面第3)个特点是非常重要的,因为对既有学科做新的划分,只属于现代科学技术体系学的“现

象学研究”;找出那些有重要任务,但现在还没有人做的学问,则跨入了研究一个学科的“动力学”的疆域,这往往预示着一个新的研究领域的诞生。第3)特点为实现“如何去提高人的思维能力”这一根本目标指明了方向,为相关新学科的建立奠定了基础。

与此同时,认知科学也在不断向前发展。20世纪70年代,司马贺曾将其归纳为:认知科学=认知心理学+人工智能^[20]。1993年美国科学基金委员会在华盛顿组织了一次有30个大学约100位专家参加的认知科学教育会议,会上对于认知科学有一致的看法:认知科学是研究人的智能(Intelligence)、其他动物的智能及人造系统的智能的科学。研究内容包括:感知、学习、记忆、知识、语义、推理、语言、注意、意识及思维等。由于这门科学具有多学科交叉的性质,人们从心理学、计算机科学、神经科学、数学、语言学、哲学等不同的领域进行有关的研究。不难看出从研究“人的智能”方面,认知科学和思维科学有其互通之处。认知科学将“人的思维”作为人工智能和机器智能的理论基础;而思维科学是要为人工智能、智能计算机、模式识别技术等建立理论基础。两者在研究内容和目标上,可以说殊途同归。

回顾思维科学和认知科学发展史,它们有众多的互通之处,例如:思维科学的思维分类对认知科学的研究起到了推动作用;认知科学对人类思维建模曾有许多借鉴和发展。在今后科学研究的道路上,两者同样可以互为参详、相得益彰。思维科学和认知科学的进展,都要充分利用现代新技术手段。例如,思维科学关于创造性的社会思维涌现需要在万维网(WWW)和“灵境”技术及多种软件支持下才能完成;认知心理学新理论的建立,像“自适应神经系统”需要在脑神经全景上“映图”和“定位”。我们从历史和发展中得到启示,有理由相信思维科学和认知科学在人类智能研究,在后信息时代的人类自身发展和完善的漫长征途上会携手前进,经过科学的碰撞思维科学和认知科学飘扬起独一面旗帜!

References

- 1 Qian Xue-Sen. Systems science, noetic science, somatic science. *Chinese Journal of Nature*, 1981, 4(1): 3-9, 80 (钱学森. 系统科学、思维科学与人体科学. 自然杂志, 1981, 4(1): 3-9, 80)
- 2 Qian Xue-Sen. *On Noetic Science*. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 1986 (钱学森. 关于思维科学. 上海: 上海人民出版社, 1986)
- 3 Qian Xue-Sen. Dialectics of nature, noetic science, and human potential. *Philosophical Research*, 1980, (4): 7-13, 31 (钱学森. 自然辩证法、思维科学和人的潜力. 哲学研究, 1980, (4): 7-13, 31)
- 4 Qian Xue-Sen. On noetic science. *Chinese Journal of Nature*, 1983, 6(8): 563-567, 572-640

⁸钱学森致戴汝为信件, 1986年5月28日。

- (钱学森. 关于思维科学. 自然杂志, 1983, **6**(8): 563–567, 572–640)
- 5 Dai Ru-Wei. Pattern recognition and imagery thinking science. *On Noetic Science*. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 1986
(戴汝为. 模式识别与形象思维学. 关于思维科学. 上海: 上海人民出版社, 1986)
 - 6 Dai Ru-Wei. Thinking with imagery (intuitive) and pattern recognition by man machine cooperation. *Information and Control*, 1994, **23**(2): 76–79, 118
(戴汝为. 形象(直感)思维与人机结合的模式识别. 信息与控制, 1994, **23**(2): 76–79, 118)
 - 7 Qian Xue-Sen. *Engineering Cybernetics (New Century Edition)*. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2007
(钱学森. 工程控制论(新世纪版). 上海: 上海交通大学出版社, 2007)
 - 8 Qian Xue-Sen. *Creating Systematology (New Century Edition)*. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2007
(钱学森. 创建系统学(新世纪版). 上海: 上海交通大学出版社, 2007)
 - 9 Qian Xue-Sen, Yu Jing-Yuan, Dai Ru-Wei. A new discipline of science — the study of open complex giant system and its methodology. *Chinese Journal of Nature*, 1990, **13**(1): 3–10, 64
(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. 自然杂志, 1990, **13**(1): 3–10, 64)
 - 10 Dai Ru-Wei. Qian Xue-Sen's great contributions to the systems science and noetic science. *The Proceedings of the Symposium about Qian Xue-Sen's Scientific Contributions and Academic Thoughts*. Beijing: China Science and Technology Press, 2001. 54–58
(戴汝为. 钱学森对系统科学思维科学的重大贡献. 钱学森科学贡献暨学术思想研讨会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 2001. 54–58)
 - 11 Dai Ru-Wei. *Science of Social Intelligence*. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2007
(戴汝为. 社会智能科学. 上海: 上海交通大学出版社, 2007)
 - 12 Cao Long-Bing, Dai Ru-Wei. *Open Complex Intelligent Systems*. Beijing: Posts and Telecom Press, 2008
(操龙兵, 戴汝为. 开放复杂智能系统. 北京: 人民邮电出版社, 2008)
 - 13 Cao L B, Dai R W, Zhou M C. Metasynthesis: M-space, M-interaction, and M-computing for open complex giant systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 2009, **39**(5): 1007–1021
 - 14 Yin Hong-Feng, Dai Ru-Wei. On thinking and simulation intelligence. *Journal of Computer Research and Development*, 1990, **27**(4): 1–15
(尹红风, 戴汝为. 论思维及模拟智能. 计算机研究与发展, 1990, **27**(4): 1–15)
 - 15 Dai R W. Man-computer cooperated intelligent science and intelligent technology. *Engineering Sciences*, 2005, **3**(3): 13–18
 - 16 Zhao Guang-Wu. *The Study of Noetic Science*. Beijing: China Renmin University Press, 1999
(赵光武. 思维科学研究. 北京: 中国人民大学出版社, 1999)
 - 17 Dai Ru-Wei, Li Yao-Dong. Researches on hall for workshop of metasynthetic engineering and system complexity. *Complex Systems and Complexity Science*, 2004, **1**(4): 1–24
(戴汝为, 李耀东. 基于综合集成的研讨厅体系与系统复杂性. 复杂系统与复杂性科学, 2004, **1**(4): 1–24)
 - 18 Dai Ru-Wei. Technique for supporting scientific decision and consultation — noetic system engineering. *Engineering Science*, 2005, **7**(1): 17–20
(戴汝为. 支持科学决策和咨询的技术 — 思维系统工程. 中国工程科学, 2005, **7**(1): 17–20)
 - 19 Zhang Tie-Sheng. *Similarity, Isomorphism, Cognition*. Nanjing: Phoenix Science Press, 1995
(张铁声. 相似, 同构, 认知. 南京: 江苏科学技术出版社, 1995)
 - 20 Dai Ru-Wei. A brief introduction on cognitive science. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 1997, **11**(1): 5–9
(戴汝为. 认知科学进展. 中国科学基金, 1997, **11**(1): 5–9)



戴汝为 中国科学院院士, 中国科学院自动化研究所研究员. 主要研究方向为人工智能、模式识别、智能系统和复杂性科学. 本文通信作者.

E-mail: ruwei.dai@ia.ac.cn

(**DAI Ru-Wei** Academician of Chinese Academy of Sciences and professor at the Institute of Automation, Chinese

Academy of Sciences. His research interest covers artificial intelligence, pattern recognition, intelligent system, and complexity science. Corresponding author of this paper.)



张雷鸣 中国科学院自动化研究所博士研究生. 主要研究方向为信息检索.

E-mail: leiming.zhang@ia.ac.cn

(**ZHANG Lei-Ming** Ph.D. candidate at the Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. His main research interest is information retrieval.)