

上海交通大学组编

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

Emergence of Metasynthetic Wisdom in Cyberspace

钱学森 戴汝为 著

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书是钱学森关于思维科学、人机结合、开放的复杂巨系统以及大成智慧的有关论述,以及在此基础上戴汝为等关于思维科学、人机结合的智能系统、系统复杂性、智能科学、大成智慧工程及综合集成研讨厅体系等所进行的一系列研究,从而体现了钱学森半个世纪前关于学科交叉研究是当代科学发展特征的学术思想。

全书共分三篇,上篇为思维科学与智能系统,中篇为开放的复杂巨系统及综合集成研讨厅体系,下篇为信息空间的智慧涌现,系统地论述了这一学科领域的相关问题。

本书可供思维科学、系统科学、智能科学以及智能信息处理工程技术领域的研究生和专业人员参考,对这些领域的研究,会有所裨益。

作者简介

钱学森 浙江省杭州市人,空气动力学家,中国科学院院士、中国工程院院士。1934年毕业于上海交通大学,1935年赴美国麻省理工学院留学,翌年获硕士学位,后进入加州理工学院,1939年获航空、数学博士学位后留校任教并从事应用力学和火箭导弹研究。1955年回国后,历任中国科学院力学所所长、国防部第五研究院副院长、院长等职。第三届中国科协主席、第六届至第八届全国政协副主席、中国共产党中央委员会第九届至第十二届中央候补委员。现任中国人民解放军总装备部科技委高级顾问、中国科学技术协会名誉主席。1956年提出《建立我国国防航空工业意见书》,最先为中国火箭导弹技术的发展提出了极为重要的实施方案。协助周恩来、聂荣臻筹备组建火箭导弹研制机构——国防部第五研究院,1956年10月任该院院长。此后长期担任我国火箭导弹和航天器研制的技术领导职务,并以他在总体、动力、制导、气动力、结构、材料、计算机、质量控制和科技管理等领域的丰富知识,为中国火箭导弹和航天事业的创建与发展做出了杰出的贡献。1957年获中国科学院自然科学一等奖,1979年获美国加州理工学院杰出校友奖,1985年获国家科技进步奖、特等奖。1989年获小罗克维尔奖章和“世界级科学与工程名人”称号,1991年被国务院、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。1999年获“两弹一星功勋奖章”。

戴汝为 云南省昆明人,1951年考入清华大学,1955年毕业于北京大学。后在中国科学院力学研究所工作近两年,师从钱学森,后转入中科院自动化所工作至今。1991年当选中科院院士,现任中科院学部主席团成员、学部道德委员会成员、中国自动化学会理事长、《模式识别与人工智能》、《复杂系统与复杂性科学》两个杂志主编,兼任清华大学、北京师范大学等30多所大学名誉教授。曾任国家863计划智能计算机主题专家组副组长、中国科学院技术科学学部副主任、国际句法模式识别委员会委员等职务。长期从事自动控制、思维科学、模式识别、人工智能、系统复杂性等方面研究工作,已发表《智能系统的综合集成》、《人机共创的智慧——著名科学家谈人工智能》、《汉字识别的系统与集成》等专著(获国家图书奖),并将钱学森1954年在美国出版的《Engineering Cybernetics》译成中文《工程控制论》于1958年出版,将美国傅京孙(K. S. Fu)1981年的专著稿《Syntactic Pattern Recognition》进行编译成为《模式识别及其应用》于1983年在国内出版。



钱学森(右)和戴汝为在讨论会上

回忆钱学森的教诲

（代前言）

回顾 50 年来在钱学森先生指导下所做的一些研究工作，一些历史事件历历在目，令人十分兴奋与感慨。

钱学森 1955 年刚回国时任中国科学院力学所所长。当时我刚从北京大学数学力学系毕业，分配到力学所工作，记得共有 4 名大学毕业生分配到力学所。而 20 世纪 50 年代中期，大批海归派回到祖国。力学所的高级研究人员远远多于大学毕业生，所以给每个大学毕业生选配一位高研作为指导老师。我被分配到钱学森门下，从事科研工作。由于钱学森回国后在力学所的第一项学术活动，就是在中关村对中科院各研究所及北大、清华等高校的青年教师讲授他于 1954 年在美国出版的专著《Engineering Cybernetics》。力学所领导分配作者学习工程控制论，听讲课，并且与何善□两人听讲后整理成笔记，用油印机印刷成讲义发给听讲课的 200 多位学员。钱学森刚回国时，虽然公事繁忙，但对讲课十分重视。在这一过程中，我俩把整理好的讲义，送交先生过目经他修改，才用油印机印刷成讲义后发给大家。对于没听懂的内容，仍不清楚的地方，我俩只好硬着头皮，向先生请教，而且还大胆地提出自己的一些看法。在大学刚毕业之际，能有这样一个机会向科学大师学习，与先生有较多的接触并有机会请教，实在是十分幸运的。我俩还遵照先生的指导，参照《Engineering Cybernetics》，整理讲义，并吸取苏联科学家对工程控制论的俄文译本中引用的俄文文献。这样，1958 年举世闻名的钱学森《工程控制论》中文译本终于在国内问世。

1982 年我在美国 Purdue 大学作为访问学者，进行了关于模式识别的研究，历时两年后返回北京。在一次追悼关肇直的会上，我遇到了钱学森。这次见到钱先生时，他已经离开了中国科学院。此后，我把在美国完成的 5 篇关于模式识别方面的论文，寄给钱先生，请他指教。由于钱学森十分关注思维科学尤其是形象思维的研究，所以对与形象思维密切联系的模式识别很感兴趣。收到回信，得知先生对我在国外完成的工作给予了好的评价与鼓励，从此开始了与先生至今 20 多年在学术问题方面的通信。

这种交流，直率、平等的通信，使我沿着钱学森所倡导的思维科学、开放的复杂巨系统及其方法论和构建综合集成研讨厅体系的研究道路上不断前进。在这个过程中，先生博大精深的学术思想，对科技前沿问题的敏锐与把握，为自己树立了一个

向科学进军的学习榜样。

1986年国内开始实行863计划,其中重要的领域之一是信息领域中的863—306主题,即智能计算机主题。当时的国际背景是,我们的邻国日本在20世纪70年代就曾实施了一个模式信息处理计划,即PIPS(pattern Information Processing Systems)计划,并于1978年在京都举行的第四届国际模式识别大会上,显示了PIPS所取得的科研成果。到了80年代,日本又提出第五代计算机计划,即KIPS(Knowledge Information Processing Systems)计划,扬言以知识信息处理系统向世界挑战,从而把人工智能的研究推向一个新的高度。正因如此,国内对研制智能机寄予很大的期望。这时我正在遵照钱学森的安排开展思维科学的研究,组织思维科学讨论班的工作,并有幸被选为智能计算机主题专家组的负责人之一。钱学森及时给予建议:“暂时停止思维科学讨论班的组织等工作,作战略转移,全心投入智能机专家组的工作”,从而在智能接口方面进行了五年的工作。

在智能机的研究过程中,最重要而且具有长远影响的是钱学森于1991年4月18日与我及汪成为、于景元、王寿云的谈话(汪成为是当时智能计算机专家委员会成员,我是专家组成员)。这次谈话的要点如下:“今天我想说的中心意思是:智能计算机是非常重要的事,是国家大事,关系到下一个世纪我们国家的地位,如果在这个问题上有所突破,将有深远的影响。我们要研究的问题不是智能机,而是人-机结合的智能系统。不能把人排除在外,是一个人-机结合的智能系统。”

这次谈话给我留下很深刻的印象,而且把后来的科研重点放在了人-机结合的智能系统方面。

在此之前的1990年,在系统科学方面的重要事件是钱学森等在《自然杂志》第1期发表了“一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论”一文。在该文中对处理开放复杂巨系统的综合集成法方面,有不够完善之处,文中有如下一段叙述:实践经验证明,现有能用的、唯一有效处理开放的复杂巨系统(包括社会系统)的方法,就是定性定量相结合的综合集成法。对这一阐述钱先生很快作了明确的修正。情况如下:

1990年10月16日在北京国防科工委系统所举行的系统学讨论班上,钱学森作了“再谈开放的复杂巨系统”的报告,报告中有四点非常重要的内容:

一是把“定性与定量相结合的综合集成法”改为“从定性到定量综合集成法”。并谈到:对于开放的复杂巨系统这样的系统,用还原论的方法去处理就不行了。怎么办?我们在这个讨论班上找到了一个方法,即从定性到定量的综合集成技术。英文译名metasynthetic engineering,这是外国没有的,是我们的创造。

二是从实际出发,只有从一个一个具体的开放复杂巨系统入手进行研究。当这些具体的开放复杂巨系统的研究成果多了,才能提炼出一般的开放复杂巨系统理论,形成开放的复杂巨系统学,作为系统学的一部分。20世纪50年代形成工程控制

论就是采用这个办法,从一个一个自动控制技术中提炼出来的。

三是人的智慧的重要性。研究开放的复杂巨系统,当然要靠计算机,靠知识系统,靠人工智能等技术手段,但又不能完全靠这些机器,最终还要靠人,靠人的智慧。

四是从定性到定量的综合集成技术是思维科学的应用技术是大有可为的,应用技术发展了,也会提炼、上升到思维科学的理论,上升到思维科学的哲学——认识论。在系统学讨论班的这次会上,我也作了题为“从定性到定量的综合集成技术”的报告。

钱学森在学术方面是十分严谨的。在会后,他向我提出把上面提到的两份报告整理成文后,送交《模式识别与人工智能》杂志。该杂志于1991年第4期正式发表了“再谈开放的复杂巨系统”与“从定性到定量的综合集成技术”两篇论文。对处理开放的复杂巨系统的方法论作了准确的阐述。

1992年钱学森进一步把处理开放的复杂巨系统的从定性到定量的综合集成法加以推广,首先他于1992年3月2日向王寿云写信表达了对综合集成研讨厅的构思,就是把下列成功经验汇总了:

- (1) 几十年来世界学术讨论的 Seminar;
- (2) C^3/I 及作战模拟;
- (3) 从定性到定量综合集成法;
- (4) 情报信息技术;
- (5) “第五次产业革命”;
- (6) 人工智能;
- (7) 灵境;
- (8) 人机结合智能系统;
- (9) 系统学;
-

1992年3月13日钱学森给我的信中写道:

“我们的目标是建成一个‘从定性到定量综合集成研讨厅体系’。这是把专家们和知识库信息系统、各种 AI 系统、几十亿次/秒的巨型计算机,像作战指挥演示厅那样组织起来,成为巨型人机结合的智能系统。组织两字代表了逻辑、理性,而专家们和各种 AI 系统代表了以实践基础的非逻辑、非理性智能,所以这个厅是 21 世纪的民主集中制工作厅,是辩证思维的体现!”

1994年我受聘为汕头大学的兼职教授并在该校建立“人工智能与模式识别实验室”。钱学森从《模式识别与人工智能》杂志上得知有关的情况,于1994年4月10日给我的信中提到这个实验室的申请办法,提出:这类研究是我们说的第二个时代的研究课题,而我们现在要开拓的第三个时代——人机结合的大成智慧工程与大成智慧学。第二个时代的研究当然有用,但目前要总结第三个时代人机结合的研究。

换句话说我们要扩大视野,用人机结合来包括机器的模式识别和人工智能。

我仔细考虑了钱学森提出的宝贵意见,重新学习了他有关“大成智慧工程”与大成智慧学的论述,并把自己的研究方向和所做的工作与此联系起来。此时我正在总结前一阶段的研究工作,准备写一套“智能自动化丛书”。

1995年我和同事们把综合集成的构思推广到智能系统的综合集成,并且作为“智能自动化丛书”的第一册——《智能系统的综合集成》,由浙江科技出版社出版。

该书呈送给钱学森,他收到书后给他所领导的学术集体的王寿云等六人写了一封信谈到他想起几点:信息革命实是产业革命,即我们所说的第五次产业革命,所以这套“智能自动化丛书”,也可以说是一部第五次产业革命的丛书。我们在丛书第一册就把一切智能系统放在我们说的“大成智慧”和“从定性到定量的综合集成法”来思考。从而把我们的理论同第五次产业革命连在一起了,过去几十年世界的自动化科学技术发展,形成两大块,一是由所谓的软件技术发展起来,现在出现了 CIMS, CAE,以至灵境技术, Virtual Prototyping 等等,都是人机结合的智能系统。《人机结合的智能系统》自始至终都阐述了这个观点。所以近几十年来自动化科学技术终于走入“大成智慧”和信息革命。这证实了第五次产业革命的到来。

这封信是钱学森对我所领导的学术团队完成的工作给予的评价,使大家深受鼓舞,紧接着这个学术团队把人机结合,从定性到定量的综合集成法,应用于汉字识别的研究,着眼于尽量利用人的聪明才智,具体是把若干个分类器用人工神经网络集成起来。在研制的过程中,对每个分类器都采用有教师的学习法(supervised learning),发挥人的作用,形成集成型汉字识别系统。这种系统较之其他方法具有更高的识别率,走在“以人为中心”的中文信息处理技术的前列。

由于我早在 20 世纪 80 年代在信中就得到钱学森关于人机关系的看法,所以从那个时候起不断向先生请教并在琢磨有关以人为主,人机结合,从而开展从定性到定量的综合集成研讨厅的工作。我先后承担了 863 项目,攀登计划项目并从 1999 年承担了国家自然科学基金委的重大项目——“支持宏观决策的综合集成研讨厅体系”,充分利用专家群体的智慧,并以网络技术和信息技术科为基础,把研讨厅从“大厅(hall)”扩展到信息空间或钱学森称之为“智界(cyberspace)”,从而构成基于信息空间的综合集成研讨厅体系(cyberspace for workshop of matasynthetic engineering),实现了大成智慧的涌现。

这样我们采用现代信息技术、网络技术,把专家体系、机器体系、知识体系三者共同构成一个虚拟工作空间,把以人为主,人机结合的综合集成研讨厅建成为一个可操作的平台,达到实际应用。

综合集成研讨厅的构思是钱学森提出来的,在他直接指导下,我们认真领会他的学术思想,经过前后近 15 年的艰苦努力,这项具有中国特色的我国科学家的自主创新工作才结出硕果!

回顾 50 年前先生排除艰危毅然回国,在国防战线和科学研究领域做出了卓越贡献,通过先生的教诲,使我在开展人机结合智能科学研究和实践大成智慧工程这条具有中国特色的研究道路上不断前进。先生学术思想的前瞻性和呕心沥血为国家科技发展的赤子之心是我们终生的榜样。

高山仰止,永为我师。

戴汝为

2006 年 8 月

目 录

上篇 思维科学与智能系统

1	钱学森关于思维科学的论述	3
2	模式识别与形象思维学	12
3	智能控制系统	21
4	智能系统的综合集成	29
5	巨型智能系统	39
6	形象(直感)思维与人机结合的模式识别	51
7	思维系统工程	57
8	从现代科学技术体系看今后智能系统的工作	63
9	钱学森对系统科学、思维科学的重大贡献	72

中篇 开放的复杂巨系统及综合集成研讨厅体系

10	开放的复杂巨系统及其方法论	83
11	关于开放的复杂巨系统	94
12	从定性到定量的综合集成技术	98
13	再谈从定性到定量的综合集成技术	105
14	复杂巨系统科学	110
15	系统科学及系统复杂性研究	120
16	Internet——一个开放的复杂巨系统	131
17	数字城市——一类开放的复杂巨系统	142
18	从工程控制论到综合集成研讨厅体系	147
19	基于综合集成的研讨厅体系与系统复杂性	156

下篇 信息空间智慧的涌现

20	钱学森关于人-机结合的论述	175
21	钱学森关于大成智慧的论述	178

22	“人-机结合”的大成智慧	182
23	智能科学与工程(人-机的结合)	194
24	大成智慧工程	198
25	人-机结合的智能科学和智能工程	209
26	人-机结合的智能工程系统	217
27	人-机结合综合集成的复杂信息处理	224
28	从思维科学到社会智能科学	239

上 篇

思维科学与智能系统

1 钱学森关于思维科学的论述^①

1.1 思维科学的重要性和目的

……图论所用研究方法很分散,每一小类问题都各有千秋,统不起来,以致学者可以钻入一小类问题,不读门外书。我想这可能就是图论必须用形象思维,每一小类问题都是根据一点点形象(直感)的认识出发,加上后面抽象(逻辑)思维,大做文章,作为一小类图论的理论。但原来那一点点形象(直感)很局限,一小类也就限制死了,出不了格!因此,问题在于不知道形象(直感)思维的规律。那反过来,研究如何打通图论各类问题的理论可否成为研究对象(直感)思维的一条途径?……

我又想:我把人的主观能力分成三大块:科学技术体系,在这个体系外围的我称之为知识的东西(局部的经验总结,非马克思主义哲学为指导的学问)和文学艺术。一旦思维科学有了突破,我们就使这三大块的结构大为改观,那将是人类文明的飞跃!

所以思维科学重要!

1986年12月10日

……我看教授先生把心理学,特别是他的认知心理学同思维学混在一起了!本来这个问题我在《自然杂志》1983年3期一文中已讲清楚,认知心理学就是上升到精神学(mentality),也还是人体科学基础学科层次,属人体科学大部门。而思维学属思维科学大部门。怎么能混在一起?

当然外国人不懂我们讲的以马克思主义哲学为最高概括的科学技术体系,头脑不清也难免!

思维学的最终目的,不仅仅是能理解人的思维行为,它要创造出比人能达到的能力更大。请看:数理逻辑和抽象思维学不是比任何一个人的推理能力强吗?

以上的原因使我更想避开 cognitive science 这个词,用 noetic science 吧。

1987年7月6日

(1) 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

^① 辑录自钱学森给戴汝为的信件、讲话。

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。我们讲的社会思维学实是研究人在集体讨论所触发的大脑激化状态下的思维,所以它主要是神经心理学和精神学的事;只处理所获得的信息,那才是思维学的研究课题。

(2) 这就提出思维学是研究加工信息,而不是研究如何获得信息,那是人体学的事。人体学要研究人在集体讨论中大脑的激化状态;人体学也要研究特异功能人是怎样接收与处理信息的。

(3) 这样,思维学的任务就是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,也可人-机结合(机器干一部分)。

1995年3月16日

1.2 思维科学内容和科学技术体系

我讲过有三种形式的思维,这就是形象思维、抽象思维、灵感思维。具体人的思维,不可能限于哪一种。解决一个问题,做一项工作或某个思维过程,至少是两种思维并用。两种,就是抽象思维和形象思维。所谓三种,就加上灵感。有一点请文艺界同志理解,科学技术不都是抽象思维。都是推理吗?都是所谓“科学的根”的推理吗?不是那么一回事。要那么样,科学根本没有办法发展。这个爱因斯坦讲得很清楚,他说,科学发展不能尽靠推理,还有直感。那直感就是形象思维。科学艺术界从前认为搞科研就是抽象思维。这事实上不可能。举一个很简单的例子。譬如人的手工艺就不能只靠抽象思维。一个有经验的钳工老师傅,拿起一块不平的铜片,当当几下,就敲平了。如让我去敲,越敲越不平。什么道理,那就很难用抽象的道理把它说清。他可以给你讲,注意这,注意那,但总是形象的。我看这就是形象思维。娃娃先有形象思维,而不是抽象思维。人从小就会形象思维,说话、识字,就是形象思维。如果要推理,高小学生都不大行,到初中才能搞复杂一点的推理。对小孩子没法讲道理,他就会模仿。模仿就是形象,不是推理。从这个意义上来说,形象思维是普遍的。思维科学作为基础科学就要研究抽象思维、形象思维、灵感思维这三种思维的形式及其规律。关于抽象思维,现在形式逻辑搞清楚了,至于说辩证逻辑还是不清楚。有许多辩证逻辑的书,它总是经典著作中辩证法的那几条,而具体怎么用,就没有了。

看来,现在突破口是形象思维。形象思维搞清楚了,灵感思维的内涵、规律,也就差不多了。因为灵感实际上是潜思维。它无非是潜在意识的表现。人的大脑复杂极了,我在这里与同志们交谈,用的那一部分叫显思维,或叫显意识,这我可以直接控制,有意识地控制。那个潜意识,控制不了,没有办法控制。但是它同时在工作,就是不知道它怎样工作,它工作的状态怎样。我想大家在工作中也会有体会,苦

思冥索不得其门,找不到道路,然而不知怎么回事,它突然来了,这就叫灵感。我们在科学工作中也有这样的情况,常常一个问题,醒着的时候总是想不起来,不想时,或夜里做梦,却忽然来了。这说明潜意识在工作。你自己不知道,可是它在试验。试验行了,它就通知显意识,这就成了你的灵感。

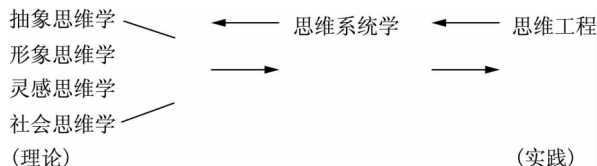
潜意识是怎么工作的?采取什么方式?原则上讲恐怕也不外是抽象思维和形象思维。可是无法反省,反省不了。心理学研究表明,人所谓的自我不是一个,而是多个自我,这多个自我协调工作,就是正常的人,如果不协调工作,就变成精神病者,叫精神分裂症。一个人的思维也就是这样,潜意识、显意识,相互协调进行工作。对于潜意识的思维方式,现在只能讲到这样的程度。如果再要追下去,就要涉及到大脑的功能机理,大脑神经元的功能。那样,彻底是彻底了,但是目前只有等着,现在什么事都不要做了。因为人的大脑神经元的作用太复杂了。最近20年,脑科学有很大发展,但是直到现在光是视觉还不知道是怎么回事。如果要从神经元追索,大脑皮层是什么东西等等,要那样彻底,只有等待。可是不必等待,人总有实践,实践是可以总结的。不要一次就追到根子下边去,而且现在也做不到。如果你一定要追,那么我就不要搞思维科学了,我去搞脑科学去了,脑科学搞清楚了,再搞思维科学。而事实上没有这个必要。所以,我觉得还是从总结经验入手。什么是显意识、潜意识?什么是多个自我?人有那么多实践,那么多事实,总可以解决些问题嘛!

至于说抽象思维、形象思维哪一种更基本的?这恐怕不能绝对化。就我自己搞科学技术的经验来看,两种都有。在文艺创作中,很强调灵感,还有只能意会、不可言传的这种情景,其实在科学工作中,许多时候也是这样。但科学不同于文艺之处,就是最后还要推理、证明。

1984年11月1日

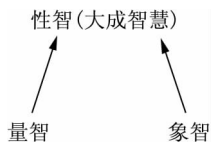
我近来看到一些文艺人讲文艺理论及审美问题的文章,又勾起我从前说过的老话:任何人们对具体问题的思维都是综合抽象思维和形象思维(有时还有灵感思维)以及社会思维的思维过程。但是人在思维,人的其他素质如生理因素及心理因素也一定会起作用。所以我现在想:作为思维科学的具体的思维应该是综合性的,是一项系统工程,叫“思维工程”吧。一般讲的科学思维、艺术思维、领导思维、创造思维、审美思维等等,都是思维工程。

指导思维工程的技术科学是思维科学中间层次的思维系统学。



1988年1月1日

至于人的思维,我们一直说有抽象(逻辑)思维、形象(直感)思维、灵感(顿悟)思维和社会思维。又说有量智及性智。近日我想:性智又分两层,低一层次是以形象为基本的,可以称“象智”,高层的才是性智。所以



1993年1月25日

这样看思维学就只有三个部分: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。创造思维才是智慧的泉源,逻辑思维和形象思维都是手段。

到今天,我们对逻辑思维研究得最深;对形象思维只是搞了个开端;对创造思维则尚未起步。对思维学我删去灵感(顿悟)思维、社会思维和特异思维,加一个创造思维。也把以前的抽象(逻辑)思维简称为逻辑思维,形象(直感)思维简称为形象思维。

有吴文俊的工作,所以逻辑思维的任务看来可以交给机器去干。而对形象思维的计算机化才开始,现在主要靠人。至于创造思维,现在只能靠人了。当然,人在思维过程中离不开信息网络。

1995年3月16日

我认为人的思维从根本上来说是人脑在接受了实践感受后的结果,是人脑的产物。分三类:①逻辑思维,这是总结了大量思维之后,得出的体系化思维;②形象思维(包括灵感思维)则是从实践中体会出的,但还未形成体系的思维;③创造思维,即前两种思维的有机结合。H. A. Simon的工作是有意义的,在于他努力从无规章的思维中找出规章,即符号体系,从而纳入逻辑思维,能进入电子计算机。但这一工作永无止境,困难不少;不能因而就排除形象思维,那会使人变傻。您和您的学生做的手写数码机器识别工作就是一例;不是最后还得用人-机结合吗?

W. Clancey的观点强调了“智能体(实即人脑. 实践)”的作用是对的,但他似又堕入经验主义哲学,而不是辩证唯物主义的“实践论”。

1996年1月4日

1.3 思维科学研究的途径

(1) 我想文中所论问题“都是探索性很强的工作,人的主观能动性非常重要,‘死心眼儿’不行,机械唯物论也会误事;我们有辩证唯物主义这个锐利的思想武器,