

基于综合集成法的工程创新

戴汝为

(中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学重点实验室, 北京 100080)

摘要: 介绍了综合集成的多层面涵义, 叙述其主要论点及发展过程。结合当前对创新问题的研究, 提出, 以人为主、人机结合、从定性到定量的综合集成法是工程创新方法的主要特征; “综合集成工程创新”正是社会智能多学科交叉在工程领域的体现。

关键词: 综合集成法; 工程创新

中图分类号: G301

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2009)01-0046-05

1 前言

近几年来, 基于国家自然科学基金重大项目“支持宏观经济决策的人-机结合综合集成体系研究”课题所取得的成果“处理开放的复杂巨系统有关问题的方法论”(以人为主、人机结合、从定性到定量的综合集成法)以及所形成的技术平台, 通过几年的努力已经在经济、军事、水利和救灾领域得到广泛应用, 取得了一定效果^[1]。面对当前工程创新研究的需求, 可以探讨综合集成法在工程创新的应用与改进, 从而形成我国工程创新研究的特色。

20世纪后期, 钱学森在《创建系统学》一书中提出了“从定性到定量的综合集成法”。这是一种关于开放的复杂巨系统的方法论, 是创建系统学的重要组成部分。他认为以人为主、人机结合、从定性到定量的综合集成, 就是把一个非常复杂的事情的各个方面综合起来, 把人的思维、思维的成果、人的知识与智慧以及各种情报、资料、信息统统集成起来。他曾将“综合集成”的英文定名为 Metasynthesis Engineering^[2], 说明了这个思想从一开始就与工程有着紧密的联系。

2 综合集成法及其主要论点

综合集成法(Metasynthesis)是在以往学术团体及科学技术文献中常用的分析(Analysis)、综合(Synthesis)、集成(Integration)等名词基础上经过拓展与深化所构造的新概念。“综合集成法”现时在科学技术界已经成为一个专有名词。

2.1 Metasynthesis 释义

英文的“meta”, 在国内往往译为“元”, 但其涵义并不准确, 这里有必要谈谈“meta”的词义。诺贝尔经济学奖和计算机图灵奖获得者司马贺(H. Simon)曾经提出, 技术变革是知识的变革, 而不是事务的变化。关于技术及其在社会意义的知识(技术发明、选择和评价的知识)是最重要的一类知识。司马贺称之为“meta-technology”。另外, 日籍机器人专家金出武雄对 meta 的解释是: meta 在逻辑学中是“更高层次的”的意思, 比如说 mathematics (数学)是一种学问, 加上 meta 的 metamathematics 就是高层次的数理哲学。综上所述, metasynthesis 是比 synthesis 更高一个层次的学问。

收稿日期: 2009-02-18; 修回日期: 2009-03-17

作者简介: 戴汝为(1932-), 男, 云南昆明人, 研究员, 中国科学院院士, 主要从事自动控制、模式识别、人工智能、认知科学等多学科交叉研究。E-mail: ruwei.dai@ia.ac.cn

在对控制系统等系统进行研究的过程中,有两种不同的途径:一是着重对已经设计完毕的系统进行分析(Analysis),了解系统具有什么性质,如系统是否稳定、运行起来性质如何等,这种途径称为系统分析;另一种是在设计过程中着重考虑系统如何构建为好,到底要由哪些部件组合起来使系统在一定限制条件下能够运行起来且其性能达到或接近设计者所预期的要求,这种途径称为系统综合(Synthesis)。在综合过程中,系统的设计与构成较为灵活,设计者可以发挥更大的主动性与创造性,建构能够满足要求的系统。

在 synthesis 的前面加上 meta 形成的 metasy-nthesis 一词,可以被看作“综合”的更高层次,如果只是死板地译为“元综合”,则会让人费解。鉴于它具有更高层次的创造性、综合性和社会性的内涵,钱学森把 metasyntesis 命名为“综合集成”。

2.2 以人为主、人机结合

综合集成作为当代科学方法论之一,其核心思想强调以人为主、人机结合的综合集成,强调把人的“心智(Human Mind)”与计算机的高性能结合起来。20世纪80年代,钱学森针对当时计算机发展需要从学术思想上提高认识时,他总结了在思维科学与计算机研究有关问题的讨论过程所得出的看法:“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,从总的方面巧妙加以把握,与经验的积累以及形象思维有密切联系,可以通过文学艺术活动、不成文的实践感受得以形成;“量智”则是一种进行定量的、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,可以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,而这正是“综合集成论点”中的重要组成部分。

2.3 从定性到定量的综合集成法

1986年,钱学森在一次讲话中提到,软科学是定性方法与定量方法相结合的。此后,钱学森进一步发展了这个方法。在1990年的论文中,他不但明确描述了开放的复杂巨系统概念,而且还与他的同事们初步给出这类系统的方法论描述,即“定性定量相结合综合集成法”。

1991年,在多次学术讨论的基础上,钱学森和作者在《模式识别与人工智能》杂志上分别署名发表了论文《再谈开放的复杂巨系统》和《从定性到定量的综合集成技术》,将定性定量相结合的说法发展为“从定性到定量的综合集成法”,从而更加强调思维的动态、辩证的性质。其中“从定性到定量”与“从感性认识到理性认识”以及“从定性的、不全面的感性认识到综合定量的理性认识”的内涵相一致。在这一过程中,人工智能和知识系统可以发挥重要作用。“法”则是指技术工程或我们所说的“大成智慧工程”。大成智慧工程居思维科学(认知科学)的工程技术层次,是思维科学(认知科学)的一项应用技术,现在看来正是工程创新方法的重要内涵。

“定性定量相结合综合集成法”与“从定性到定量的综合集成法”,看起来只是文字上稍有差异,而事实上这是非常不同的两种思路。从科学发展的过程来看,这个方法论是把还原论与整体论结合起来,既超越了还原论也发展了整体论,是系统学的一种新的方法论。其理论基础是思维科学,方法基础是系统科学与数学,技术基础是以计算机为主的现代信息技术,哲学基础是马克思主义实践论与认识论,实践基础则是系统工程的实际应用。

3 创新方法研究概述^[3]

从20世纪三四十年代起,对科学发现和技术发明过程感兴趣的一些实际工作者,从经验出发,以研究案例为主,总结了许多创造方法。例如,1938年,美国BBDO广告公司副总经理奥斯本,

总结了广告设计中创意产生的机制,制订了激发集体创造力的“头脑风暴法(也称智力激励法)”。尽管当时对这些创造方法还没有做出科学解释,没有从理论上说明其所以然,但这些方法仍然使人们大大受惠。人们开始学会了用发明方法来促进创新,也在工程上攀升了一定高度。

20世纪50年代中期,苏联发射了世界上第一颗人造卫星。受其刺激,在世界范围内又一次形成开发创造力的高潮。20世纪60年代,苏联创造学家阿里特舒列尔等人创立了“物场分析”的理论与方法,制订了发明课程程序大纲、物理化学效应表、基本措施表和标准解法等工具,并不断修改完善。1968年,他发表了《发明解题大纲——1968》,这是在分析了25000份高水平专利、提取了40个基本措施之后完成的。1971年、1973年两次修订再版,到了《发明解题大纲——1977》,已具有“精确科学”的性质。前苏联的研究,在世界创造技法和发明方法研究史上有着不可磨灭的贡献。

日本创造学家市川龟久弥早年曾研究科学技术史和人物传记,后来受到格式塔心理学创始人韦特海默的《创造性思维》一书的启发,又经10年研究,制订出了“等价变换法”。等价变换法在某种程度上将隐喻类比程序化,使用便捷,其辅助工具与苏联学者的发明程序大纲有点类似,较好地解决了右脑型方法与左脑型方法相结合的问题。值得一提的还有日本创造学家片山善治发明的“ZK”法,它运用东方文化中诗文创作的“启、承、转、合”来概括创造性解决问题的过程,使创造技法带有明显的东方色彩。

从内容上看,以美国为代表的欧美创造技法,着眼于调动主体积极的心理活动等较难于量化把握的创造技巧,可以说更注重人的右脑式非逻辑思维功能;以苏联为代表的发明方法,着重对客体(发明物)和客观规律运用研究,可以说更重视发挥左脑式的逻辑思维方法的作用。从应用范围看,美国的创造技法既可用在科学发现、技术发明上,

也可用在经营管理上,而发明方法则主要运用于科学技术发明,运用到工程领域,就形成了工程创新方法。创新是动态的,创新方法也始终在发展。现在较为流行的“发明问题解决理论”(TRIZ)诞生于前苏联,经过逐步发展,已经成为被国际大公司采用的方法之一。

从创新方法发展的历史来看,逻辑实证主义不承认非逻辑思维方法的作用,从而影响了科学发现的研究,也影响到对科学创造思维方法的正确认识。事实上,对科学家们的伟大发现发挥直接作用的,往往是他们的创造性思维,或其独特的想象和直觉等心理活动。正如爱因斯坦所说:“我信任直觉”,“我相信直觉和灵感”^[4]。

对创新过程的思考,也可以进一步联系到科学与艺术的孪生和依存关系,李政道说:“一般人看来,科学和艺术似乎各行其道,互不相关,其实,他们有共同的基础——人类的创造力,它们追求的目标都是真理的普遍性^[5]。”艺术和科学本是相通的,许多具体的创造技法,则可以说正是从方法的角度将科学与艺术联系在一起。隐喻类比中运用了相似联想和相近联想。这些在科学研究和技术发展中全都是经常使用的思维方法。

艺术创造方法被频繁地运用于科学技术创造领域,并且赋予了它们以新的内容,体现了非逻辑思维方法的作用。事实上,在建筑、仿生和生命工程领域特别在创造性工程设计中,都显示出了艺术创造方法的重要作用。从方法论角度来看,其作用在于:(1)通过充分利用右脑思维功能,创造技法能多侧面调节意识和无意识能力,使主体的能动作用得到超常发挥;(2)充分利用非逻辑思维以弥补逻辑思维在创造过程中的不足,从而为科学方法论研究展示了一个新的视角;(3)对隐喻类比的多层次、多角度运用反映了多种思维方式及顿悟对创新过程的作用,这些方法在前述过程中体现为几个系统在各个阶段所构成的不同层面。这些都表明,“综合集成”的概念与科学创新方法论的研究是相通的。

4 工程创新的时代特征——社会智能的涌现

4.1 团队是工程创新的主体

当前,我国正处于经济增长方式由要素驱动向创新驱动转变的重要战略机遇期。顺应时代特征和着眼发展全局,我国提出了提高自主创新能力、建设创新型国家的战略决策。科学技术事业面临着前所未有的发展机遇。面向国家经济社会发展的需要,创新要适应各领域学科前沿与交叉领域的发展,进行多学科综合,发展战略高技术。

人类历史和历次产业革命的经验表明,人是生产力也是科学技术创新的首要因素。在科学技术与社会人文交叉融合的今天,牛顿、莱布尼茨靠个人发明创造的时代已经过去。作为最活跃的因素——创新,其主体是社会的人、人的群体以及科学团队,表现在工程创新上,它涉及众多学科和工程领域,当然首先体现为对工程创新团队的依赖。

4.2 社会智能是工程创新的基础和源泉

20世纪是人类走向信息社会的世纪,是网络的时代。信息系统将从科学计算、数据处理等向提高人民文化度和生活质量的方向发展。信息资源建设日益受到重视,信息处理逐步由单维向多维化过渡,人类将走向一个以互联网(Internet)为基础的计算机、通信和消费类电子相结合的世界。进入21世纪,发达国家进一步迈入“概念时代”。人们认识到了人类智能的本质是一种社会性的智能。人们在研究人类智能行为中发现,人类绝大部分的活动都涉及多个人构成的社会团体,大型复杂问题的求解需要多个专业人员或组织协作完成。人最重要的智能是在由众多个体构成的社会中进行各种活动时体现出来的。“协作”、“竞争”是人类智能行为的主要表现形式。这就要求对社会性智能进行研究。这种社会性智能,实际上是一种群体性智慧。当前,作为信息时代成果

的各种信息手段和网络无所不在,而概念时代还呈现出人的高感性、共情能力及其思维的多样性。因此,当今的社会是人类群体和以计算机为代表的机器群体共栖的社会,是人类与其赖以生存的自然界共存的社会,是人类各种思想意识碰撞以及各种思维方式互相激励、演化并进的社会。既然如此,“社会智能”的形成就必然是一个“综合集成”的过程^[6],表现在工程创新上,也同样是一个交互和综合集成的过程。

4.3 综合集成工程创新的平台

综合集成研讨体系通过与现代信息技术相结合,已经形成信息空间的综合集成研讨体系(Cyberspace for Workshop of Metasynthetic Engineering)。其实质就是将专家群体、数据和各种信息与计算机有机地结合起来,构成一个系统。这种方法的应用,关键在于发挥系统的整体优势与综合优势。从定性到定量的综合集成技术充分体现了人机结合的思想,在综合集成的过程中人始终起主导作用。综合集成是人用计算机的软硬件来综合专家群体的定性认识及专家系统、决策支持系统等信息系统所提供的结论及各种数据与信息,经过加工处理从而使之上升为对总体的定量认识。综合集成的过程是相当复杂的,即使掌握了大量的定性知识,也不是通过几个步骤、几次处理就能达到对全局的定量认识。对于大型、复杂的工程问题,同样是如此(图1)。

从分析综合集成过程与信息空间的综合集成研讨体系的具体运用,可以看出人特别是工程创新团队发挥着主要作用,通过信息空间实现的人机结合集成了网络上的群体智慧。这些充分展示了当代的社会特性。应该说,工程创新过程正是从定性到定量的综合集成法在多层面的反复应用。可以认为,以人为主、人机结合、从定性到定量的综合集成法是工程创新的有效手段;信息空间的综合集成研讨体系可以作为工程创新的技术平台。

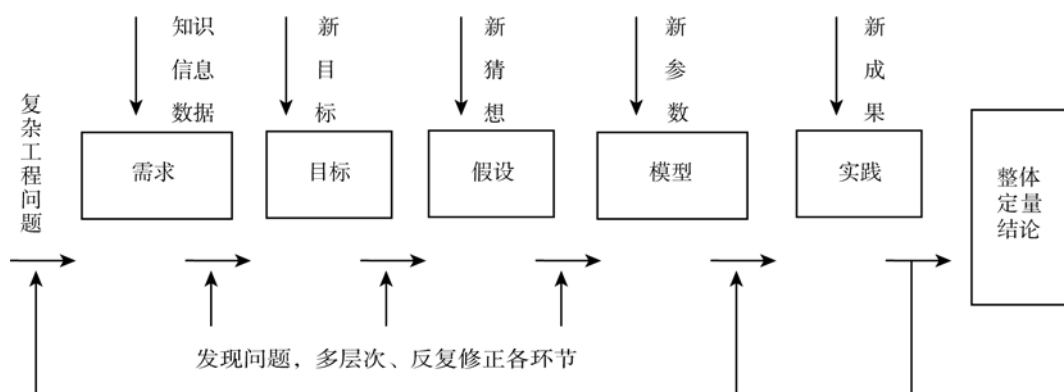


图1 从定性到定量的综合集成过程

参考文献

- [1] 钱学森, 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.
- [2] 钱学森著. 创建系统学(新世纪版)[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2007.
- [3] 傅世侠, 罗玲玲. 科学创造方法论[M]. 北京: 中国经济出版社, 2000.
- [4] 爱因斯坦. 爱因斯坦文集(第三卷)[M]. 许良英, 赵中立, 张宣三编译. 北京: 商务印书馆, 1979: 70.
- [5] 李政道. 科学和艺术[J]. 自然杂志, 19, (1): 1-5.
- [6] 戴汝为. 社会智能科学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2007.

Engineering Innovation Based on Metasynthesis

Dai Ruwei

(Laboratory of Complex Systems and Intelligence Science, The Institute of Automation of the
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract: This paper expounds the meanings of metasynthesis, its major points and development. With regard to present research on innovation, the author presents that the metasynthesis is the major features of engineering innovation, i.e., centering on people with an integration of people and machines, and emphasizing both qualitative and quantitative aspect, and that “synthetic integrative engineering innovation” is the embodiment of social and intelligent interdisciplinary research in the field of engineering.

Key words: metasynthesis; engineering innovation

责任编辑: 王大洲