

文章编号: 1009-6744 (2005) 01-0003-08

决策论坛

关于综合集成的研究 ——方法、理论、技术、工程

于景元
(中国航天科技集团公司 710 所, 北京 100037)

编者按: 本篇文章是于景元研究员在“中国系统工程学会交通运输系统工程专业委员会第五届理事会暨中国综合交通运输发展研讨会”上的大会发言稿。综合集成方法和综合集成思想是我国著名科学家钱学森在 20 世纪 80 年代末至 90 年代初提出的一种系统方法, 用于处理复杂系统和复杂巨系统问题。作者分别从方法、理论、技术与应用几个层次上, 深入浅出地对综合集成方法进行了阐述, 其目的是为了今后有利于对综合集成方法的研究和应用。综合性和整体化的方向, 不仅是科学层次上的理论问题, 也是技术层次上的应用问题。本刊认为该发言对我国综合交通网的规划和建设有重要的指导作用, 在此发表, 以飨读者。

关键词: 综合集成; 钱学森; 复杂系统和复杂巨系统; 综合交通网规划
中图分类号: U 491. 13

Meta-synthesis: its Method, Theory, Technology and Engineering

YU Jing-yuan
(The 710th Institute of China Aerospace and Technology Corp., Beijing 100037, China)

Editor's Comments: This article was a keynote speech by Prof. Yu Jing-yuan at the Fifth Substitution Symposium of Committee members of the System Engineering Society of China. Meta-synthesis is a systematic method that can be used to solve the problems of complex systems and complex huge systems. It was established between late 1980s and early 1990s by Qian Xue-sen, a well-known scientist in China. To make his report helpful for future research and application, the author expounds meta-synthesis from the perspectives of method, theory, technology, and application in a profound but easily understood way. The direction of synthesis and integration is not only a scientific theoretical problem, but also a technical practical problem. The editors of the journal believe this report has a guiding function for the planning and construction of our national comprehensive transportation network, so it is presented to readers here.

Key words: meta-synthesis; Qian Xue-sen; complex systems and complex huge systems; planning of comprehensive transportation network
CLC number: U 491. 13

0 引言

这次会议是关于综合交通发展的研讨会。听了

各位的学术报告, 很受启发。综合交通是各种交通运输方式综合集成起来形成一个体系, 即综合交通

收稿日期: 2004-12-16

于景元(1937—), 男, 黑龙江肇庆人, 中国系统工程学会副理事长, 中国航天科技集团公司 710 所研究员、博士生导师, 主要从事系统科学方面的研究工作。地址: 北京 842 信箱。

运输体系¹⁹对这个体系的研究要用到系统方法,所以我从系统角度谈一些看法¹⁹最近写了一篇关于综合集成的文章,我就按这篇文章来讲,供大家参考,不妥之处敬请批评指正¹⁹。

20 世纪 80 年代中,著名科学家钱学森亲自倡导和指导了“系统学讨论班”的学术活动¹⁹这个讨论班的目的是建立系统科学的基础理论系统学^[1]¹⁹在这个讨论班上,钱学森发表了许多创造性的学术思想和观点,提炼了很多重要的科学概念,提出了新的系统方法论¹⁹特别是他提出的开放的复杂巨系统及其方法论,开辟了一个科学的新领域,具有重要的理论和实践意义^[2]¹⁹。

大体在同一时期,国外兴起了复杂性研究和复杂性科学,后来又提出复杂系统和复杂适应系统的研究¹⁹比较起来,钱学森在这方面的科学思想和科学方法显得更为深刻,也更为系统¹⁹特别是他提出的系统集成思想与系统集成方法,具有重要的科学价值和深远的学术影响¹⁹。

本文的目的是从方法、理论、技术与应用的几个层次上,对系统集成进行一些讨论,以利于今后进一步的研究和应用¹⁹。

党的十六届三中全会提出了以人为本,全面、协调、可持续发展的科学发展观¹⁹前不久,胡锦涛总书记在两院院士大会上的讲话中,就如何落实科学发展观问题,更加明确地指出“落实科学发展观,是一项系统工程,不仅涉及经济社会发展方方面面,而且涉及经济活动、社会活动和自然界的复杂关系,涉及人与经济社会环境、自然环境的相互作用¹⁹这就需要采用系统科学的方法来分析、解决问题,从多因素、多层次、多方面入手研究经济社会发展和社会形态、自然形态的大系统”¹⁹并进一步指出“要把自然科学、人文科学、社会科学等方方面面的知识、方法、手段协调和集成起来,不断认识和把握社会发展的客观规律,对科学发展观进行周密的科学解释,为科学发展观提供坚实的科学理论基础”¹⁹这个讲话不仅表明了中央领导同志对系统科学和系统工程的重视,同时也对系统科学和系统工程的研究和应用提出了新的更高要求¹⁹从这个角度来看,钱学森的综合集成思想和系统集成方法更有重要的现实意义¹⁹。

1 从系统整体性到系统集成

系统科学和已有的其它科学不一样,它是从事

物的整体与部分,全局与局部以及层次关系的角度来研究客观世界的^[1]¹⁹客观世界包括自然、社会和人自身,能反映事物这个特征最基本的重要概念是系统¹⁹所以系统也就成为系统科学研究的基本对象¹⁹这与自然科学、社会科学、人文科学研究对象不同,它能把这些对象联系起来作为系统进行综合性研究¹⁹这也就是为什么系统科学具有交叉性、综合性、整体性与横断性的原因¹⁹。

所谓系统是指由一些互相关联、互相作用、互相影响的组成部分所构成的具有某些功能的整体¹⁹这样定义的系统在自然界、人类社会包括人自身是普遍存在的¹⁹通常将相互关联、相互作用、相互影响的组成部分称作系统结构¹⁹系统以外的部分称为系统环境¹⁹根据系统结构的复杂程度,可将系统分为简单系统、简单巨系统、复杂系统、复杂巨系统、特殊复杂巨系统——社会系统¹⁹。

系统的一个重要特点,就是系统在整体上具有其组成部分所没有的性质,这就是系统的整体性¹⁹系统整体性的外在表现就是系统功能¹⁹这个性质意味着,对系统组成部分都认识了,并不等于认识了系统整体,系统整体性并不是组成部分性质的简单“拼盘”¹⁹我们常说“三个臭皮匠凑成个诸葛亮”,三个臭皮匠所构成的系统,在整体上是诸葛亮水平,而它的组成部分只是臭皮匠水平,两者相差很大¹⁹下面我们将会看到,研究和运用系统整体性这一特点,具有重要的理论和实践意义¹⁹。

在系统科学中,有一条很重要的原理,就是系统结构和系统环境以及它们之间关联关系,决定了系统整体性和功能¹⁹也就是说,系统整体性与功能是内部系统结构与外部系统环境综合集成的结果,也就是复杂性研究中所说的涌现(Emergence)^[3]¹⁹。

从理论上来看,研究系统结构与环境如何决定系统整体性和功能,揭示系统存在、演化、协同、发展与控制的一般规律,就成为系统学,特别是复杂巨系统学的基本任务¹⁹国外关于复杂系统的研究,也是属于这方面的探索¹⁹。

从应用角度来看,根据这个原理,为了使系统具有我们期望的功能,特别是最好的功能,我们可以通过改变和调整系统结构或系统环境以及它们之间关联关系来实现¹⁹但是系统环境通常不是我们想改变就能改变的,只能主动去适应¹⁹而系统结构却是我们能够改变、调整和设计的¹⁹这样,我们便可以通过改变和调整系统组成部分或组成部分之间、

层次结构之间以及与系统环境之间的关联关系,使它们相互协调与协同,从而使系统在整体上涌现出我们满意的和最好的功能,这就是系统控制、系统干预(Intervention)、系统组织管理的基本内涵,也是控制工程、系统工程等所要实现的主要目标¹⁹。

对于系统研究和应用来说,一个是要认识系统,另一个是在认识系统的基础上去改造和运用系统,这就要有正确的方法论指导和科学方法的正确运用¹⁹。

2 系统集成方法

对复杂系统、复杂巨系统(包括社会系统)的研究,是系统科学中的核心问题,也是系统工程应用中难以处理的问题¹⁹。对于简单系统、简单巨系统均已有了相应的方法论和方法,也有了相应的理论与技术并在继续发展之中¹⁹。但对复杂系统、复杂巨系统(包括社会系统),首先遇到的是方法论和方法问题¹⁹。它不是已有科学方法所能处理的¹⁹。

从近代科学到现代科学的发展过程中,自然科学采用了从定性到定量的研究方法,所以自然科学被称为“精密科学”¹⁹。而社会科学、人文科学由于研究对象的复杂性,通常采用的是从定性到定性的思辨、描述的方法,所以这些学问被称为“描述科学”¹⁹。但这种趋势随着科学技术的发展也在变化,有些学科逐渐向精密化方向接近,例如经济学、社会学等¹⁹。

从方法论角度来看,在这个发展中,培根式的还原论方法发挥了重要作用,特别是在自然科学中取得了很大成功¹⁹。还原论方法是把所研究的对象分解成部分,以为部分都研究清楚了,整体也就清楚了¹⁹。如果部分还研究不清楚,再继续分解下去进行研究,直到弄清楚为止¹⁹。按照这个方法论,物理学对物质结构的研究已经到了夸克层次,生物学对生命的研究也到了基因层次¹⁹。但是现实的情况却告诉我们,认识了基本粒子还不能解释大物质构造,知道了基因也回答不了生命是什么¹⁹。这些基本事实使科学家们认识到“还原论不足之处正日益明显”^[4]¹⁹。这就是说,还原论方法由整体往下分解,研究得越来越细,这是它的优势方面,但由下往上回不来,回答不了高层次和整体问题,这又是它的不足一面¹⁹。所以仅靠还原论方法还不够,还要解决由下往上的问题,也就是前面提到的所谓涌现问题¹⁹。著名物理学家李政道曾讲过“我猜想 21 世纪的方向要整体统一,微观的基本粒子要和宏观的真空构造、大型量

子态结合起来,这些很可能是 21 世纪的研究目标”^[5]¹⁹。这里所说的把宏观和微观结合起来,就是要研究微观如何决定宏观,解决由下往上的问题,打通从微观到宏观的通路,使宏观与微观统一起来¹⁹。

同样的原因,还原论方法也处理不了系统整体性问题,特别是复杂系统和复杂巨系统的整体性问题¹⁹。从系统角度来看,把系统分解为部分,单独研究一个部分,就把这个部分和其它部分的关联关系切断了¹⁹。这样,就是把每个部分都研究清楚了,也回答不了系统整体性问题¹⁹。

意识到这一点更早的科学家是彼塔朗菲,他是一位分子生物学家,当生物学研究已经发展到分子生物学时,用他的话来说,对生物在分子层次上了解得越多,对生物整体反而认识得越模糊¹⁹。在这种情况下,他提出了整体论方法,强调还是从生物体系统的整体上来研究问题¹⁹。但限于当时的科学技术水平,支撑整体论方法的具体方法体系没有发展起来,还是从整体论整体,从定性到定性,解决不了问题¹⁹。但整体论方法的提出却是对现代科学技术发展的重要贡献¹⁹。

20 世纪 80 年代中,国外出现了所谓复杂性研究和复杂性科学¹⁹。实际上,他们所说的复杂性问题就是用还原论方法处理不了而需要有新的方法论和方法来处理的问题¹⁹。从这个角度来看,系统整体性,特别是复杂系统、复杂巨系统的整体性问题就是复杂性问题¹⁹。所以对复杂性的研究,他们后来也“采用了一个‘复杂系统’的词,代表那些对组织部分的理解不能解释其全部性质的系统”^[4]¹⁹。国外关于复杂性和复杂系统的研究,在研究方法上确实有许多创新之处,如他们提出的遗传算法,开发的 swarm 软件平台,以 Agent 为基础的系统建模,用数字技术描述的人工生命等等¹⁹。但在方法论上,虽然也意识到了还原论方法的局限性,但并没有开辟出新的途径,提出新的方法论¹⁹。方法论和方法是两个不同层次的问题¹⁹。方法论是关于研究问题所应遵循的途径和路线,在方法论指导下是具体方法问题¹⁹。如果方法论不对,再好的方法也解决不了根本性问题¹⁹。

20 世纪 70 年代末,钱学森提出把还原论方法和整体论方法结合起来,即系统论方法¹⁹。应用这个方法研究系统时,也需要将系统分解,在分解后研究的基础上再综合集成到系统整体,实现 1+1>2 的涌现,达到从整体上研究和解决问题的目的¹⁹。

系统论方法吸收了还原论方法和整体论方法各自的长处,同时也弥补了各自的局限性,既超越了还原论方法,又发展了整体论方法,这就是系统论方法的优势所在¹⁹。

还原论方法、整体论方法、系统论方法都属于方法论层次,但又各具特色,各有不同¹⁹还原论方法采取了从上往下、由整体到部分的研究途径,整体论方法是不分解的,从整体到整体¹⁹而系统论方法既从整体到部分由上而下,又自下而上由部分到整体¹⁹。正是研究路线上的不同,使它们在研究和认识客观事物的结果上也不同¹⁹形象地说,可概括如下:

- 整体论方法 $1+0=1$
- 还原论方法 $1+1\leq 2$
- 系统论方法 $1+1>2$

20 世纪 80 年代末至 90 年代初,钱学森又先后提出“从定性到定量综合集成方法”以及它的实践形式“从定性到定量综合集成研讨厅体系”(以下将两者简称为综合集成方法),并将运用这套方法的集体称为总体部¹⁹。这就将系统论方法具体化了,形成了一套可以操作的行之有效的方法体系和实践方式¹⁹。从方法与技术层次上看,它是人-机结合、人-网结合以人为主的信息、知识和智慧的综合集成技术;从运用和应用层次上看,是以总体部为实体进行的综合集成工程¹⁹。

综合集成方法的实质是把专家体系、信息与知识体系以及计算机体系有机结合起来,构成一个高度智能化的人-机结合体系,这个体系具有综合优势、整体优势和智能优势¹⁹。它能把人的思维、思维的成果、人的经验、知识、智慧以及各种情报、资料和信息统统集成起来,从多方面的定性认识上升到定量认识¹⁹。

综合集成方法是以思维科学为基础的¹⁹。从思维科学角度来看,人脑和计算机都能有效处理信息,但两者有极大差别¹⁹。人脑思维一种是逻辑思维(抽象思维),它是定量、微观处理信息的方法;另一种是形象思维,它是定性、宏观处理信息的方法,而人的创造性主要来自创造思维,创造思维是逻辑思维和形象思维的结合,也就是定性与定量相结合、宏观与微观相结合,这是人脑创造性的源泉¹⁹。今天的计算机在逻辑思维方面确实能做很多事情,甚至比人脑做得还好、还快,善于信息的精确处理,已有许多科学成就证明了这一点,如著名数学家吴文俊先生的定理机器证明¹⁹。但在形象思维方面,现在的计

算机还不能给我们以任何帮助¹⁹。至于创造思维就只能依靠人脑了¹⁹。但计算机在逻辑思维方面毕竟有其优势,如果把人脑和计算机结合起来以人为主,那就更有优势,人将变得更加聪明,它的智能比人要高,比机器就更高,这也是 1+1\$ 机结合以人为主的思维方式和研究方式就具有更强的创造性和认识客观事物的能力,见图 1¹⁹。

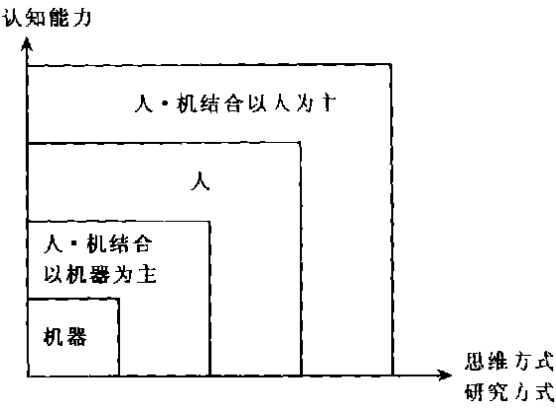


图 1

信息、知识、智慧这是三个不同层次的问题¹⁹。有了信息未必有知识,有了信息和知识也未必就有智慧¹⁹。信息的综合集成可以获得知识,信息、知识的综合集成可以获得智慧¹⁹。人类有史以来,是通过人脑获得知识和智慧的¹⁹。现在由于以计算机为主的现代信息技术的发展,我们可以通过人-机结合以人为主的方法来获得知识和智慧,在人类发展史上,这是具有重大意义的进步¹⁹。综合集成方法就是这种人-机结合获得知识和智慧的方法¹⁹。

从认识论角度来看,与所有科学研究一样,无论是对复杂系统、复杂巨系统(包括社会系统)的理论研究还是应用研究,通常是在已有的科学理论、经验知识基础上并和专家判断力(专家的知识、智慧和创造力)相结合,对所研究的问题提出和形成经验性假设,如猜想、判断、思路、对策、方案等等,这种经验性假设一般是定性的¹⁹。它所以是经验性假设,是因为其正确与否、能否成立还没有用严谨的科学方式加以证明¹⁹。在自然科学和数学中,这类经验性假设是用严密的逻辑推理和各种实验手段来证明的,这一过程体现了从定性到定量的特点,所以这些学问被称为“精密科学”¹⁹。但对复杂系统、复杂巨系统来说,由于其跨学科、跨领域的特点,对所研究的问题能提出经验性假设,通常不是一个专家,也不是一个领域的专家们所能提出来的,而是由不同领域、不同学科专家构成的专家体系,依靠

群体的知识和智慧,对所研究的复杂系统和复杂巨系统问题提出经验性假设与判断¹⁹但要证明其正确与否,仅靠自然科学和数学中所用的各种方法就显得力所不及了¹⁹如社会系统、地理系统中的问题,既不是简单的逻辑推理,也不能进行实验¹⁹但我们对经验性假设又不能只停留在思辨和从定性到定性的描述上,这是社会科学、人文科学中常用的方法,这些学问被称为“描述科学”¹⁹系统科学是要走“精密科学”之路的,那么出路在哪里?这就是人-机结合以人为主的思维方式和研究方式¹⁹机器能做的尽量由机器去完成,极大扩展人脑逻辑思维处理信息的能力(自然也就包括了各种能用的数学方法和工具)¹⁹通过人-机结合以人为主,实现信息、知识和智慧的综合集成¹⁹这里包括了不同领域的科学理论和经验知识、定性知识和定量知识、理性知识和感性知识,通过人机交互、反复比较、逐次逼近,实现从

定性到定量认识,从而对经验性假设的正确与否做出明确结论,无论是肯定还是否定了经验性假设,都是认识上的进步,然后再提出新的经验性假设,继续进行定量研究,这是一个永远也不会完结的认识过程¹⁹.

综合集成方法的运用是专家体系的合作以及专家体系与机器体系合作的研究方式与工作方式¹⁹.具体地说,是通过①定性综合集成;到②定性、定量相结合综合集成;再到③从定性到定量综合集成这样三个步骤来实现的¹⁹这个过程不是截然分开,而是循环往复、逐次逼近的¹⁹^[1]复杂系统与复杂巨系统问题,通常是非结构化问题¹⁹通过上述综合集成过程可以看出,在逐次逼近过程中,综合集成方法实际上是用结构化序列去逼近非结构化问题,见图 2¹⁹.

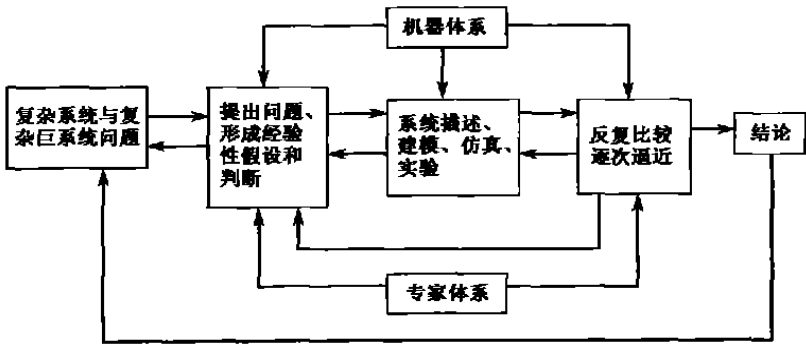


图 2

这套方法是目前处理复杂系统、复杂巨系统(包括社会系统)的有效方法¹⁹已有成功的案例证明了它的有效性¹⁹综合集成方法的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的实践论与认识论¹⁹.

3 综合集成的系统理论与系统技术

科学是认识世界的学问,技术是改造世界的学问,工程是改造世界的实践¹⁹从这样三个层次来看,现代科学技术已有了巨大发展,人类对客观世界的认识越来越深刻,改造客观世界的能力也越来越强¹⁹今天,科学技术对客观世界的研究与探索,已从渺观、微观、宏观、宇观直到胀观五个层次的时空范围,可用图 3 来表示¹⁹.

其中宏观层次就是我们所在的地球,在地球上出现了生命、生物,产生了人类和人类社会¹⁹相应于

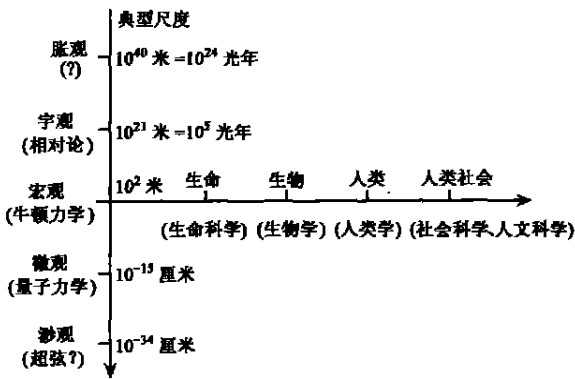


图 3

这些不同部分和不同层次的研究,也就形成了今天所说的自然科学、社会科学、人文科学¹⁹概括地说,自然科学是关于自然规律的学问,可以概括为物有物理,简称为物理;社会科学是关于社会规律的学问,可以概括为事有事理,简称为事理;人文科学是关于人的学问,可以概括为人有人理,简称为人理¹⁹.

我们处理任何事物,都要物理对,事理明,人理通,才有可能取得成功¹⁹。

客观世界是相互联系、相互影响、相互作用的,因而反映客观世界不同部分不同层次规律的自然科学、社会科学、人文科学,也是相互联系、相互影响、相互作用的,我们不应把这些学问的内在联系人为地加以割裂,而应把它们有机联系起来去研究和解决问题¹⁹。德国著名物理学家普朗克在上个世纪 30 年代,就曾提出“科学是内在的整体,它被分解为单独的整体不是取决于事物的本身,而是取决于人类认识能力的局限性¹⁹实际上存在着从物理到化学,通过生物学和人类学到社会学的连续链条,这是任何一处都不能被打断的链条”¹⁹这段话是很深刻的,科学的发展也证实了这个论断的科学性和正确性¹⁹。

现代科学技术的发展呈现出既高度分化,又高度综合的两种明显趋势¹⁹。一方面是已有学科不断分化、越分越细,新科学、新领域不断产生;另一方面是不同学科、不同领域之间相互交叉、结合、以至融合,向综合性整体化的方向发展¹⁹。这两种趋势是相辅相成,相互促进的¹⁹。

在这后一发展趋势中,不仅有同一领域内不同学科的交叉、结合,特别是不同领域之间,如自然科学、社会科学、人文科学之间的相互结合以至融合,这已成为现代科学技术发展的重要特点¹⁹。在这一趋势中,先后涌现出系统科学、管理科学、软科学、复杂性科学等¹⁹。在这个方向上的理论和应用研究,都应引起我们高度重视,这里有很大的创新空间¹⁹。特别是这方面人才的培养,显得更加迫切¹⁹。这类人才是具有跨学科、跨领域能力的复合型人才¹⁹。

对于这后一发展趋势,我们始终面临着如何把不同领域、不同学科以及不同层次的知识综合集成起来的问题,这样形成的知识和理论对客观事物的认识将更加深刻和更加全面¹⁹。复杂性研究和复杂科学的积极倡导者 Gell-mann,在他所著的《夸克与美洲豹》一书中,曾写道“研究已表明,物理学、生物学、行为科学,甚至艺术与人类学,都可以用一种新的途径把它们联系到一起,有些事实和想法初看起来彼此风牛马不相及,但新的方法却很容易使它们发生关联”¹⁹。Gell-mann 虽然没有说明这里所说的新途径、新方法是什么,但从他们后来关于复杂系统、复杂适应系统的研究来看,这个新途径和新方法就是系统途径和系统方法¹⁹。

实际上,人类长期社会实践所积累起来的知识,如今已发展成为一个体系,这就是人类知识体系¹⁹。在这个体系中,不同领域、不同学科、不同层次的知识,相互关联、相互影响共居一体,而且这个体系是开放的,随着科学技术的发展,这个体系也要发展¹⁹。钱学森对这个体系的结构,曾提出过一个清晰的框架^[7]¹⁹。

一般来说,复杂系统、复杂巨系统不仅有自然属性,还有社会属性和人文属性¹⁹。这些属性寓于在同一个系统之中¹⁹。研究这个系统不仅需要自然科学,也需要社会科学、人文科学,系统本身就把这些学问联系起来了¹⁹。这就需要把这些学问综合集成起来,才有可能全面、深刻地去认识系统¹⁹。以管理科学为例,大家都认为管理科学是自然科学、社会科学、人文科学相互交叉、结合以至融合的研究领域¹⁹。实际上,管理科学所面临的研究和应用对象都是系统,这些系统通常都是复杂系统和复杂巨系统,既有自然属性,又有社会属性和人文属性¹⁹。在这种情况下,我们需要的是把自然科学、社会科学与人文科学综合集成起来研究系统的管理问题,而不是把它们分割开来仅从自然科学角度或仅从社会科学、人文科学角度去研究,然后再拼起来¹⁹。这是两种不同的研究路线,也是两种不同的研究方法¹⁹。前者需要综合集成方法,后者还是还原论方法¹⁹。方法不同效果也就不会一样¹⁹。

在现代科学技术向综合性整体化方向发展过程中,综合集成方法是可以发挥作用的¹⁹。运用综合集成方法所形成的理论就是综合集成的系统理论¹⁹。钱学森提出的系统学,特别是复杂巨系统学,就是要建立这套理论¹⁹。国外关于复杂性的研究,实际上是复杂系统、复杂巨系统的动力学问题,也是属于系统理论范畴¹⁹。

综合性整体化的方向,不仅有科学层次上的理论问题,也有技术层次上的应用问题¹⁹。在这方面,比较典型的是系统工程技术的出现与发展¹⁹。系统工程是组织管理系统的技术,它根据系统总体目标的要求,从系统整体出发,运用综合集成方法把与系统有关的学科理论方法与技术综合集成起来,对系统结构、环境与功能进行总体分析、总体论证、总体设计和总体协调,其中包括系统建模、仿真、分析、优化、评估与设计,以求得可行的、满意的或最好的系统方案并付诸实施¹⁹。

由于实际系统不同,将系统工程用到哪类系统

上,还要用到与这个系统有关的科学理论方法与技术¹⁹例如,用到社会系统上,就需要社会科学与人文学方面的知¹⁹从这些特点来看,系统工程不同于其它技术,它是一类综合性的整体技术、一种综合集成的系统技术、一门整体优化的定量技术¹⁹它体现了从整体上研究和解决问题的技术方法¹⁹

系统工程的应用首先从工程系统开始的,用来组织管理工程系统的研究、规划、设计、制造、试验和使用¹⁹实践已证明了它的有效性,如航天系统工程¹⁹直接为这类工程系统工程提供理论方法的有运筹学、控制论、信息论等,当然还要用到自然科学技术有关的理论方法与技术¹⁹所以,对工程系统工程来说,综合集成也是其基本特点¹⁹

当我们把系统工程用来组织管理复杂系统和复杂巨系统(包括社会系统)时,处理工程系统的方法已不够用了,难以用来处理复杂系统、复杂巨系统的组织管理问题¹⁹在这种情况下,系统工程也要发展¹⁹由于有了综合集成方法,系统工程便可以用来组织管理复杂系统和复杂巨系统了,这样系统工程也就发展了,已发展到复杂系统工程和复杂巨系统工程阶段¹⁹

从综合集成的系统理论到综合集成的系统技术,中间也应有个过渡桥梁,它属于技术科学层次¹⁹王众托院士曾提出把这门学问称作“集成学”¹⁹考虑到综合集成的内涵和外延比通常所说的集成要广泛而深刻,因而称作“综合集成学”可能更贴切一些¹⁹

4 综合集成工程

把综合集成的系统理论与系统技术用于改造客观世界的实践中,就是综合集成工程¹⁹

社会实践的特点是有明确目的性和组织性¹⁹要清楚干什么、为什么干、能不能干以及怎样干才能干得最好的问题¹⁹随着科学技术的发展、生产力的提高和社会进步,社会实践越来越丰富,也越来越复杂,突出表现在空间活动范围上越来越大,时间尺度变化上越来越快,层次结构上越来越复杂,效果和影响上越来越广泛和深远¹⁹在这种情况下,社会实践绝不是想干什么就干什么,想怎么干就怎么干¹⁹社会实践不仅有自然属性,还有社会属性和人文属性¹⁹这就使得社会实践具有高度的综合性、系统性、动态性和复杂性¹⁹

实践作为一个过程,包括实践前形成的思路、

设想、战略、规划、方案、计划以及可行性等,都应进行科学论证,以使实践的目的性、可行性等建立在科学基础上,而不是建立在经验甚至感情和意志的基础上,这就涉及到决策科学化问题;也包括实践过程中,要有科学的组织管理和协调,保证实践的有效性,以取得最好的效果;还包括实践后的总结和评估,检验整个实践的科学与合理性,以利于今后再实践,这是一个正反馈过程¹⁹

对任何一项具体实践或工程,都是一个具体的实际系统,是有人参与的实际系统¹⁹因此,社会实践是系统的实践,也是系统的工程¹⁹这样一来,有关实践的决策与组织管理等问题,也就成为系统的决策与组织管理问题,在这种情况下,系统的理论方法和技术应用到社会实践或工程中去,也就是很自然的事情了¹⁹

要把系统工程应用到实践中,就必须有个运用它的实体部门,以航天为例,航天系统中每种型号都是一个工程系统,对每种型号都有一个总体部,总体部就是运用系统工程的实体部门¹⁹总体部由熟悉这个工程系统的各方面专业人员组成,并由知识面比较宽广的专家(称为总设计师)负责领导¹⁹根据系统总体目标要求,总体部设计的是系统总体方案,是实现整个系统的技术途径¹⁹总体部把系统作为它所从属的更大系统的组成部分进行研制,对它所有技术要求都首先从实现这个更大系统的技术协调来考虑;总体部又把系统作为若干分系统有机结合的整体来设计,对每个分系统的技术要求都首先从实现整个系统技术协调的角度来考虑,总体部对研制中分系统之间的矛盾,分系统与系统之间的矛盾,都首先从总体目标的需要来考虑¹⁹运用系统方法并综合运用有关学科的理论与方法,对型号系统结构、环境与功能进行总体分析、总体设计、总体协调,包括计算机和数学为工具的系统建模、仿真、分析、优化、试验与评估,以求得满意的和最好的系统方案,并把这样的总体方案提供给决策部门作为决策的科学依据¹⁹一旦为决策者所采纳,再由有关部门付诸实施¹⁹航天型号总体部在实践中已被证明是非常有效的,在我国航天事业发展中,发挥了重要作用¹⁹

这个总体部所处理的对象还是个工程系统¹⁹但在实践中,研制这些工程系统所要投入的人、财、物、信息等也构成一个系统,即研制系统¹⁹对这个系统的要求是以较低的成本、在较短的时间内研制出

可靠的、高质量的型号系统,对这个研制系统不仅有如何合理配置资源问题,还涉及到体制、机制、战略、规划、计划、政策措施以及决策与管理等问题,见图 4¹⁹。

显然,这个系统要比工程系统复杂得多,属于社会系统范畴¹⁹。如果说工程系统主要依靠自然科学技术的话,那么这个研制系统除了自然科学技术外,还需要社会科学与人文科学¹⁹。如何组织管理这个系统,也需要系统工程,但工程系统工程是处理不了这类系统的组织管理问题的,需要社会系统工程¹⁹。

应用社会系统工程也需要有个实体部门,这个部门就是前面提到的运用综合集成方法的总体部,这个总体部与航天型号的总体部比较起来已有很大的不同,有了实质性的发展,但从整体上研究与解决问题的思想还是一致的¹⁹。

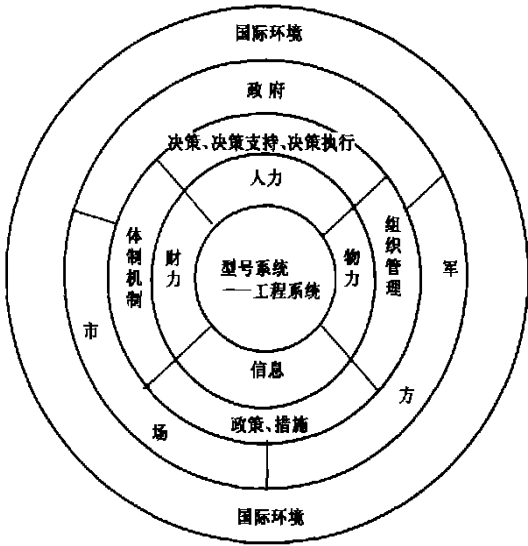


图 4

5 综合集成思想

通过以上几点讨论,可以看出有一条主线贯穿其中,这就是综合集成思想¹⁹。所谓综合集成思想就是把还原论思想和整体论思想结合起来的系统论思想¹⁹。

还原论思想以分为主,从整体到部分、由上往下分解,以为低层次和局部都清楚了,整体也就清

楚了,在这个思想指导下形成了还原论方法¹⁹。这个方法在自然科学中占据了主导地位,也确实促进了自然科学的发展,取得了很大成就¹⁹。但随着科学技术的发展,还原论方法的局限性也日益突出出来¹⁹。

彼塔朗菲比较早就意识到了还原论方法的局限性,提出还应从整体上研究问题的整体论思想和整体论方法¹⁹。虽然支撑整体论方法的方法体系没有发展起来,但整体论思想和方法的提出是对科学思想和科学方法的一大贡献¹⁹。

钱学森提出把还原论思想和整体论思想结合起来的综合集成思想¹⁹。这又是科学思想的一个重要发展¹⁹。综合集成思想在方法论层次上的体现就是综合集成方法¹⁹。运用综合集成方法所形成的系统理论和系统技术,是综合集成思想在科学、技术层次上的体现,而综合集成工程则是综合集成思想在实践层次上的体现¹⁹。

综合集成思想是系统思想的重要发展,也是科学思想的重要发展;综合集成方法是系统方法的重要发展,也是科学方法的重要发展¹⁹。综合集成思想、综合集成方法,必将对科学技术的发展做出积极贡献,特别是对科学技术向综合性整体化方向发展,必将发挥重要作用,这是钱学森对现代科学技术发展具有深远影响的重大贡献¹⁹。

参考文献

[1] 钱学森. 创建系统学[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 2001.

[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[J]. 自然杂志, 1990, (1).

[3] M·Worldrop. 复杂——诞生于秩序与混沌边缘的科学[M]. 上海: 三联书店, 1997.

[4] Gallagher·R, Appenzeller·T. 超越还原论[A]. 复杂性研究论文集[C]. 戴汝为主编, 1999.

[5] 李政道. 新世纪: 微观与宏观的统一[J]. 科学世界, 2000, (1).

[6] 于景元, 周晓纪. 综合集成方法与总体设计部[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2004, (1).

[7] 钱学森. 我们要用现代科学技术建设有中国特色的社会主义[R]. 在《九十年代科技发展与中国现代化》系统讲座上的讲话, 1991.