

DOI: 10.3724/SP.J.1224.2009.01025

系统工程的发展与应用

于景元

(中国航天科技集团 710 研究所, 北京 100048)

摘要: 重点介绍了钱学森提出的综合集成方法, 基于这个方法, 系统工程已经发展到复杂巨系统工程和社会系统工程阶段。总体设计部是运用综合集成方法、应用系统工程技术的实体部门, 是实现综合集成工程的关键所在。文中也指出了这些进展在实际中的应用价值和意义。

关键词: 综合集成方法; 复杂巨系统工程; 社会系统工程; 总体设计部

中图分类号: N94

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2009)01-0025-09

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。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; 另一方面是不同学科、不同领域之间相互交叉、结合与融合, 向综合性整体化的方向发展。这两者是相辅相成、相互促进的。系统科学就是这后一发展趋势中产生的最有代表性的科学技术。

系统科学是从事物的整体与部分的关系、局部与全局关系以及层次之间的关系的角度来研究客观世界的。客观世界包括自然、社会和人自身在内, 能反映事物上述特征的最基本和最重要的概念就是系统。所谓系统是指由一些相互关联、相互作用、相互影响的组成部分所构成的具有某些功能的整体。这样定义的系统在客观世界中是普遍存在的, 所以, 系统也就成为了系统科学研究和应用的主要对象。系统科学与自然科学、社会科学既有不同, 也有内在联系, 它能把这些科学领域研究的问题联系起来, 作为系统进行综合性、整体性研究。这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。也正是这些特点, 使系统科学处在现代科学技术发展的综合性整体化方向上。

钱学森是我国系统科学事业的开拓者和奠基者, 20 世纪 70 年代末, 钱学森就提出了系统科学的体系结构, 这个体系既包括基础理论层次上的系统学, 也包括技术科学层次上的运筹学、控制论、信息论等, 还包括应用技术或工程技术层次上的系统工程。在 1978 年的一篇文章中, 钱老就已明确指出^[1], 系统工程是组织管理系统的工程技术。在大力推动系统工程应用的同时, 他又提出建立系统理论和创建系统学的问题^[2]。在创建系统学的过程中, 钱学森提出了开放的复杂巨系统及其方法论^[3], 由此开创了复杂巨系统的科学与技术这一新领域^[4], 从而使系统科学发展到一个新的阶段。

在上述发展过程中, 系统工程也有了很大发展, 现已发展到复杂巨系统工程和社会系统工程阶段。本文的目的是对这些进展作些介绍和讨论, 以利于实践中的应用。

1 综合集成方法

对于系统科学来说, 一个是要认识系统, 另一个是在认识系统的基础上去设计、改造和运用系统, 这就要有科学方法论的指导和科学方法的运用。

系统科学的研究表明, 系统的一个重要特点,

收稿日期: 2009-03-02; 修回日期: 2009-03-10

作者简介: 于景元(1937-), 男, 黑龙江省肇东市人, 研究员, 研究方向为系统科学与系统工程。E-mail: yujiyu2384@sina.com

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。系统整体性的外在表现就是系统功能。系统内部结构和系统外部环境以及它们之间的关联关系, 决定了系统的整体性和功能。从理论上来看, 研究系统结构与环境如何决定系统整体性与功能, 揭示系统存在、演化、协同、控制与发展的一般规律, 就成为系统学特别是复杂巨系统学的基本任务。国外学者所关注的复杂性研究, 正是钱老指出过的开放复杂巨系统的动力学问题, 实际上也属于系统理论范畴。

另一方面, 从应用角度来看, 根据上述系统性质, 为了使系统具有期望的功能, 特别是最好的功能, 可以通过改变和调整系统结构和系统环境以及它们之间的关联关系来实现。但系统环境并不是想改变就能改变的, 在不能改变的情况下, 只能主动去适应。而系统结构却是能够改变、调整和设计的。这样, 便可以通过改变、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的关联关系, 使它们相互协调与协同, 从而在整体上涌现出所期望的和最好的功能。这就是系统控制和系统管理的内涵, 也是系统工程所要实现的主要目标。

根据系统结构的复杂性, 可将系统分为简单系统、简单巨系统、复杂系统和复杂巨系统以及特殊复杂巨系统——社会系统。对于简单系统、简单巨系统, 均已有了相应的方法, 也有了相应的理论与技术并在不断发展之中。但对于复杂系统、复杂巨系统以及社会系统, 却不是已有的科学方法所能处理的, 需要有新的方法论和方法, 正如钱老指出的, 这是一个新的科学领域。

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”。而社会科学、人文科学等由于研究问题的复杂性, 通常采用的是从定性到定性的思辨、描述方法, 所以这些学问被称为“描述科学”。当然, 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发展, 如经济学等。

从方法论角度看, 在这个发展过程中, 还原论方法发挥了重要作用, 特别是在自然科学领域

中取得了很大成功。还原论方法是把所研究的对象分解成部分, 以为部分研究清楚了, 整体也就清楚了。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。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。毫无疑问, 这是现代科学技术取得的巨大成就。但现实情况却使我们看到, 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。这些事实使科学家认识到“还原论不足之处正日益明显”^[5]。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。

所以仅靠还原论方法还不够, 还要解决由下往上的问题, 也就是复杂性研究中的所谓涌现问题。李政道对于 21 世纪物理学的发展曾讲过: “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”^[6]。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, 把宏观和微观统一起来。

同样的道理, 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以及社会系统的整体性问题。从系统角度来看, 把系统分解为部分, 单独研究一个部分, 就把这个部分和其他部分的关联关系切断了。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。

分子生物学家贝塔朗菲更早地意识到了这点。用他的话来说, 当生物学研究已经发展到分子生物学时, 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。在这种情况下, 他于 20 世纪 30 年代提出了整体论方法, 强调从生物体系统的整体上来研究问题。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还没有发展起来, 还是只好从整体论整体、从定性到定性, 论来论去解决不了问题。正如钱老所说, “几十年来一般系统论基本上处于概念的阐发

阶段,具体理论和定量结果还很少^[7]。”但整体论方法的提出,确是对现代科学技术发展的重大贡献。

20 世纪 80 年代中期,国外出现了复杂性研究。所谓复杂性其实都是系统复杂性,从这个角度来看,系统整体性问题特别是复杂系统和复杂巨系统以及社会系统的整体性问题就是复杂性问题。所以研究复杂性的学者,后来也“采用了一个复杂系统的词,代表那些对组成部分的理解不能解释其全部性质的系统^[5]。”

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,如遗传算法、演化算法、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。在方法论上,虽然他们也意识到了还原论方法的局限性,但并没有提出新的方法论。方法论和方法是两个不同层次的问题。方法论是关于研究问题所应遵循的途径和研究路线,在方法论指导下是具体方法问题,如果方法论不对,再好的方法也解决不了根本性问题。

20 世纪 70 年代末,钱学森明确指出:“我们所提倡的系统论,既不是整体论,也非还原论,而是整体论与还原论的辩证统一^[8]。”钱老的这个系统论思想后来发展成为他的综合集成思想。根据这个思想,钱老又提出将还原论方法与整体论方法辩证统一起来,形成了系统论方法。在应用系统论方法时,也要从系统整体出发将系统进行分解,在分解后研究的基础上,再综合集成到系统整体,实现 $1+1>2$ 的整体涌现,最终从整体上研究和解决问题。由此可见,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。这是钱学森在科学方法论上具有里程碑意义的贡献,它不仅大大促进了系统科学的发展,同时也必将对自然科学、社会科学等其他科学技术部门产生深刻的影响。

钱学森高度重视以计算机、网络和通信技术为核心的信息技术革命,并指出这场信息技术革命不仅将导致一场新的产业革命,而且将对人自身特别对人的思维会产生重要影响,将出现人一机结合的思维方式,人将变得更加聪明,因为人一机

结合超越了仅靠人脑获得知识和智慧的传统模式。我们知道,人类有史以来是通过人脑获得知识和智慧的,但现在由于以计算机为代表的现代信息技术的发展,出现了人一机结合、人一网结合、以人为主的思维方式、研究方式和工作方式。这在人类发展史上是具有重大意义的进步,对人类未来必将产生深远影响。正是在这种背景下,钱老提出了人一机结合、以人为主的思维方式和研究方式。

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。人脑思维有三种:一种是逻辑思维(抽象思维),它是定量、微观处理信息的方式;另一种是形象思维,它是定性、宏观处理信息的方式;还有一种是创造思维,它是逻辑思维与形象思维的结合,也就是定性与定量相结合、宏观与微观相结合。创造思维是人脑创造性的源泉。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、还精确。有很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就是这方面的一项杰出成就。而在形象思维方面,现在的计算机还不能给我们以任何帮助,也许今后这方面有了新的发展,情况将会变化。至于创造思维就只能依靠人脑了。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,它的智能比人高,比机器就更高,这也是 $1+1>2$ 的道理。这种人—机结合、以人为主的思维方式、研究方式和工作方式,具有更强的创造性,也具有更强的认识世界和改造世界的能力。可以用图 1 来说明这一点。

从图 1 中可以看出,人一机结合以人为主的思维方式,它的智能和认知能力处在最高端。这种聪明人的出现,预示着将出现一个“新人类”——人一机结合的新人类。

基于思维科学和信息技术的发展,20 世纪 80 年代末到 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”(以下将两者合称为综合集成方法),并将运用这套方法的集体称为总体设计部。这就将系统论方法具体化为一套可

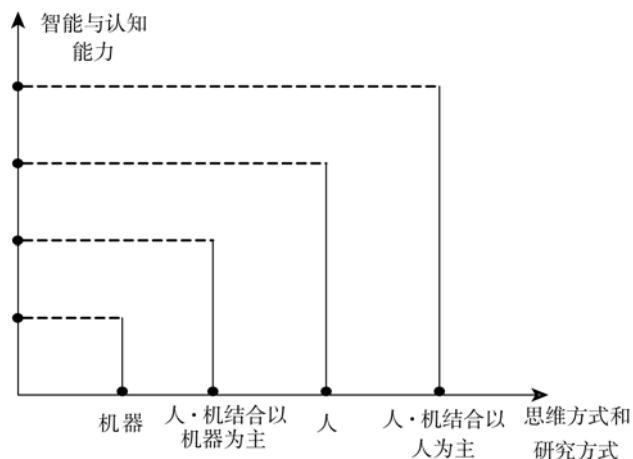


图1 各种思维方式/研究方式比较

以操作的行之有效的体系和实践方式。从方法和技术层次上看，它是人一机结合、人一网结合、以人为主的信息、知识和智慧的综合集成技术。从应用和运用层次上看，是以总体设计部为实体进行的综合集成工程。

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—机结合与融合体系，这个体系具有综合优势、整体优势和智能优势。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。综合集成方法就是人一机结合获得信息、知识和智慧的方法，它是人一机结合的信息处理系统，也是人一机结合的知识创新系统，还是人一机结合的智慧集成系统。鉴于我国传统文化有“集大成”的说法，即把一个非常复杂的事物的各个方面综合集成起来，达到对整体的认识，集大成得智慧，所以钱老又把这套方法称为“大成智慧工程”。将大成智慧工程进一步发展，在理论上提炼成一门学问，就是大成智慧学。

从实践论和认识论角度来看，与所有科学研究一样，无论是复杂系统、复杂巨系统(包括社会系统)的理论研究还是应用研究，通常都是在已有的科学理论、经验知识基础上，结合专家判断力(专家的知识、智慧和创造力)，对所研究的问题提出经验性假设如猜想、判断、思路、对策、方案等。这种经验性假设一般是定性的。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。在自然科学和数学科学中，这类经验性假设是用严密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研究特点。但是，对复杂系统、复杂巨系统(包括社会系统)来说，由于其跨学科、跨领域、跨层次的特点，要针对特定问题提出经验性假设，单靠一个专家或者一个领域的专家通常是行不通的，而是要靠来自不同领域、不同学科的专家所构成的专家体系、靠专家群体的知识和智慧。

要证明经验型假设正确与否，仅靠自然科学和数学中的方法也是力所不及的。如社会系统、地理系统中的问题，既不能通过单纯的逻辑推理来推断，也不易靠科学实验来解决。但是，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。系统科学志在走“精密科学”之路，那么出路在哪里？这个出路就是人一机结合、以人为主的思维方式和研究方式。采取“机帮人、人帮机”的合作方式，机器能做的尽量由机器去完成，从而极大地扩展人脑逻辑思维处理信息的能力。通过人一机结合以人为主，将不同学科、不同领域的科学理论和经验知识、定性和定量知识、理性和感性知识囊括其中，通过人一机交互、反复比较、逐次逼近，实现从定性到定量的认识，实现信息、知识和智慧的综合集成，最终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，形成循环往复、不断深化的螺旋式上升过程。

综合集成方法的运用是专家体系内部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。具体来说，是通过三个步骤来实现的：定性的综合集成、定性定量相结合的综合集成、从定性到定量综合集成。这个过程不是截然分开的，而是循环往复、逐次逼近的。

应该指出的是，这个过程是综合集成研讨厅的研讨流程，也是研讨厅中的机器体系的设计思想和技术路线。具体来说，总体设计部运用综合

集成方法的过程和内容包括：

(1) 定性综合集成

综合集成方法是面向问题的，既可以研究理论问题，也可以研究应用问题。无论是哪类问题，正如前面所述，对复杂巨系统(包括社会系统)能提出来问题形成经验性假设，需要有个专家体系。专家体系由来自相关学科和领域的专家构成。每个专家都有自己掌握的科学理论、经验知识以至智慧。通过专家们的结合、磨合和融合，相互启发与激活，从不同方面、不同角度去研究复杂巨系统(包括社会系统)的同一问题，就会获得全面认识。这个过程体现了不同学科、不同领域的交叉，是一种社会思维方式。问题本身是个系统问题，它所涉及的各方面知识也是相互联系的。通过专家体系合作，就把多种学科知识用系统方法联系起来了，统一在系统整体框架内。通过研讨对所研究的问题形成定性判断、提出经验性假设。专家体系经过研讨所形成的问题和经验性假设也可能不只一种，在这种情况下就更需要精密论证。即使是一种共识，它仍然是经验性的，还不是科学结论，仍需要精密论证。

这一步是很重要的，很多原始创新思想是从这里产生的。正如爱因斯坦所说，提出一个问题往往比解决一个问题更为重要。因为解决一个问题也许是数学上或实验上的技巧问题，而提出新的问题，新的可能性，从新的角度看旧的问题，却需要创造性的想象力，而且标志着科学的真正进步。

从思维科学角度来看，这个过程以形象思维为主，是信息、知识和智慧的定性综合集成。这个经验性假设与判断，只能由专家体系提出，机器体系是提不出来的，但机器体系可以帮助专家体系去提出，如现在的数据挖掘、知识发现等技术。所以这一步也需要人一机结合。

(2) 定性定量相结合综合集成

对于定性综合集成所形成的问题和提出的经验性假设与判断，为了用严谨的科学方法证明它正确与否，就需要把定性描述上升到整体定量描述。这种定量描述有多种方式。实现这一步的关键是定性定量相结合综合集成。专家体系利用机器体

系的丰富资源和定量处理信息的强大能力，通过建模、仿真和实验等方法与手段来完成这一步。

用模型和模型体系描述系统是系统定量研究的有效方式。从建模方法来看，有基于机理的数学建模、基于规则的计算机建模、面向统计数据的统计建模以及智能建模等。对复杂巨系统(包括社会系统)，期望完全靠数学模型来描述，目前还有很大困难。一方面需要发展新的数学理论，另一方面也需要新的建模方法。计算机软件技术、知识工程、人工智能以及算法等的发展，使基于规则的计算机建模有了很大发展，这类计算机模型所能描述的系统更广泛，也更逼真。在这方面，美国圣菲研究所(SFI)和国际应用系统分析研究所(IASA)的一些工作值得重视和借鉴。把数学模型和计算机模型结合起来的系统模型，则能够更好地逼近实际系统，其逼近的程度取决于所要研究问题的精度要求。如果满足了精度要求，那么这个系统模型是完全可以信赖的，就可以应用这个模型来研究我们想要研究的问题。不同的系统，其模型精度要求也不一样，例如人口系统的模型精度要求在千分之一左右，而经济系统是百分之三左右。

复杂巨系统(包括社会系统)的建模，一方面需要真实的统计数据；另一方面必须紧密结合实际情况，基于对系统的真实理解。因此，建模过程是科学和经验相结合的过程。

在机器体系支持下，根据数据与信息体系、指标体系、模型体系、方法体系和算法体系，专家们对定性综合集成提出的经验性假设和判断进行系统仿真和实验。从系统结构、环境和功能之间的输入-输出关系，进行系统分析与综合。这就相当于用系统实验来验证和证明经验性假设与判断的正确与否。不过这个系统实验不是系统实体实验，而是在计算机上进行的仿真实验。这样的仿真实验有时比系统实体实验更有优越性。例如系统未来发展趋势预测，对系统实体来说是难以做到的，因为它还没有运动到那个时刻，但在计算机仿真中是可行的。

这个过程可能要反复多次，以便把专家们所能想到的各种因素，他们的知识和智慧，都融进

系统仿真和实验之中,从而观测到更多定量结果,增强对问题的定量认识。

通过系统仿真和实验,对经验性假设和判断给出整体的定量描述,如评价指标体系等,这就增加了新的信息,而且是定量信息。

(3) 从定性到定量综合集成

通过定性定量相结合的综合集成获得了问题的整体定量描述,专家体系需要再一次进行综合集成。在这一次综合集成中,由于有了新的定量信息,专家们有可能从定量描述中,得到关于经验性假设正确与否的定量结论。如果是这样,也就完成了从定性到定量的综合集成。但这个过程通常不是一次就能完成的,往往要反复多次。如果定量描述还不足以证明或验证经验性假设和判断的正确性,专家们会提出新的修正意见和实验方案,再重复以上过程。这时专家们的知识、经验和智慧已融进到新的建议和方案中,通过人一机交互、反复比较、逐次逼近,直到专家们能从定量描述中证明和验证经验性假设和判断的正确性,获得了满意的定量结论,这个过程也就结束了。这时的结论已从定性上升到了定量,不再是经验性假设和判断,而是经过严谨论证的科学结论。这个结论就是现阶段对客观事物认识的科学结论。如果定量描述否定了原来的经验性假设和判断,那也是一种新的认识,又会提出新的经验性假设与判断,再重复上述过程。

综上所述,从定性综合集成提出经验性假设和判断的定性描述,到定性定量相结合综合集成得到定量描述,再到从定性到定量综合集成获得定量的科学结论,这就实现了从经验性的定性认识上升到科学的定量认识。

复杂巨系统(包括社会系统)问题都是非结构化问题。可是,目前计算机只能处理结构化问题。从上述综合集成过程来看,虽然每循环一次都是结构化处理,但其中已融进了专家体系的科学理论、经验知识和智慧,如调整模型、修正参数等。其实,这个过程的实质,就是用一个结构化序列去逐步逼近一个非结构化问题,逼近到专家们认

为可信时为止。“可信与否”也不能由机器体系去判断,而是机器体系帮助专家体系去判断,这也体现了人一机结合以人为主要的技术路线。

已有一些成功的案例说明了综合集成方法的有效性和科学性。这套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和网络技术,哲学基础是实践论和认识论。应该强调指出的是,应用这套方法必须有数据和信息体系的支持,这就对复杂巨系统(包括社会系统)的统计指标设计和系统观测方式提出了新的要求。以社会系统为例,有些社会系统问题用这个方法处理起来之所以困难,往往不是方法本身的问题,而是缺少统计数据支持,机器体系中也不会有这部分资源。就我国统计指标来看,只有经济方面的统计指标比较多,其他方面统计指标很少,有些还没有统计指标。

在现代科学技术向综合性整体化方向发展过程中,我们始终面临着如何把不同科学技术部门、不同学科以及不同层次的知识综合集成起来的问题。面对这种矩阵式知识结构,综合集成方法可以发挥重要的方法论和方法作用。从方法论和方法特点来看,综合集成方法本质上就是用来处理跨学科、跨领域和跨层次问题研究的方法论和方法。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。钱学森提出的系统学特别是复杂巨系统学,就是要建立这套复杂巨系统理论。国外关于复杂性的研究,实际上也是属于这个范畴。

同样,应用综合集成方法在技术层次上也可以发展复杂巨系统技术。在这方面比较典型的是系统工程技术的出现和发展,这也是钱老一直大力倡导和推动的。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科学理论与技术综合集成起来,对系统结构、环境和功能进行总体分析、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、设计与评估,以求得可行的、满意的或最好的系统方案并付诸实施。

由于实际系统不同,将系统工程用到哪类系

统上，还要用与这个系统有关的科学理论方法与技术。例如，用到社会系统上，就需要社会科学与人文学等方面的知识。从这些特点来看，系统工程不同于其他技术，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。它体现了从整体上研究和解决系统管理问题的技术方法。

系统工程的应用首先是从工程系统开始的，用来组织管理工程系统的研究、规划、设计、制造、试验和使用。实践已证明了它的有效性，如航天系统工程。直接为这类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的有关理论方法与技术。所以，对工程系统工程来说，综合集成也是其基本特点，只不过处理起来相对容易一些。

当把系统工程用于复杂巨系统和社会系统的组织和管理时，处理工程系统的方法已不够用了，因为这类方法难以用来处理复杂巨系统的组织管理问题。在这种情况下，系统工程也要进一步发展。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巨系统和社会系统了。这样，系统工程也就发展了，现已发展到复杂巨系统工程和社会系统工程阶段^[4]。

2 综合集成工程

从实践论观点来看，任何社会实践特别是复杂的社会实践，都有明确的目的性和组织性，就是要清楚做什么、为什么要做、能不能做以及怎样做才能做得最好。从实践过程来看，包括实践前形成的思路、设想以及战略、规划、计划、方案、可行性等，都要进行科学论证，以使实践的目的性建立在科学基础之上。同时，在实践过程中，要有科学的组织管理与协调，以保证实践的有效性；要对实践过程和实践结果进行评估，以检验实践的科学性和合理性。从微观、中观直到宏观的所有社会实践，都具有这些特点。

社会实践要在理论指导下才有可能成功。这个理论就是现代科学技术体系和人类知识体系^[9]。处在理论体系最高端的是辩证唯物主义，

所以社会实践首先应受辩证唯物主义的指导。但仅有哲学层次上的指导还不够，还需要有科学层次上各个科学技术部门的科学理论、方法和应用技术，甚至还需要“前科学”层次上的经验知识和感性知识的指导和帮助。即使这样，社会实践还会涌现出已有理论与技术无法处理的新问题。像我国改革开放和社会主义现代化建设这类伟大的社会实践，就有大量问题需要创新来解决。

如何把不同科学技术部门、不同层次的知识综合集成起来形成指导社会实践的理论方法和技术，以解决社会实践中问题，就有个方法论和方法问题。从综合集成方法的特点来看，它有潜力处理这类问题。运用综合集成方法形成的理论与技术，来改造客观世界，这种实践就是综合集成工程。我们所面临的大量社会实践，特别是复杂的社会实践其实都是综合集成工程，它不是单一理论和单一技术所能解决的。

社会实践通常包括三个重要的组成部分：一个是实践对象，指的是实践中干什么，它体现了实践的目的性；第二个是实践主体，指的是由谁来干，如何来干，它体现了实践的组织性；第三个就是决策主体，它最终要决定干不干，由谁来干并干得最好。

从系统科学的观点来看，任何一项社会实践或工程，都是一个具体的实践系统，是有人参与的实践系统。实践对象是个系统，实践主体也是系统(人在其中)，把两者结合起来还是个系统。因此，社会实践是系统的实践，也是系统的工程。这样一来，有关实践或工程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，系统论思想、系统科学的理论方法和技术应用到社会实践或工程的决策与管理之中，不仅是自然的，也是必然的。从这里也可以看出，系统论、系统科学对社会实践或工程的特殊重要性。

人们在遇到涉及的因素多而又难于处理的社会实践问题时，往往脱口而出的一句话就是：这是系统工程问题。这句话是对的，其实它包含两层含义：一层含义是从实践或工程角度来看，这是系统的实践或系统的工程；另一层含义是从技

术角度来看,既然是系统的工程或实践,它的组织管理就应该直接用系统工程技术去处理,因为工程技术是直接用来改造客观世界的。可惜的是,人们往往只注意到了前者,相对于没有系统观点的实践来说,这也是个进步,但却忽视和忘记了要用系统工程技术去解决问题。结果就造成了“什么都是系统工程,但又什么也没有用系统工程技术去解决问题”的局面。

要把系统工程技术应用到实践中,必须有个运用它的实体部门。我国航天事业的发展就得益于成功地应用了系统工程技术。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设计部,总体设计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。根据系统总体目标要求,总体设计部设计的是系统总体方案,是实现整个系统的技术途径。

总体设计部把系统作为它所从属的更大系统的组成部分进行研制,对它的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。总体设计部又把系统作为若干分系统有机结合的整体来进行设计;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。对于研制中出现的分系统之间的矛盾以及分系统与系统之间的矛盾,总体设计部都首先从总体目标的需要来考虑。运用系统方法并综合运用有关学科的理论与方法,对型号工程系统的结构、环境与功能进行总体分析、总体论证、总体设计、总体协调,包括以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。一旦为决策者所采纳,再由有关部门付诸实施。航天型号总体设计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。

这个总体设计部所处理的对象还是个工程系统。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。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和优化配置资源问题,还涉及体制机制、发展战略、规划计划、政策措施以及决策与管理等问题。这两个系统是紧密相关的,把两者结合起来又构成了一个新的系统。

显然,这个系统要比工程系统复杂得多,属于社会系统范畴。如果说工程系统主要依靠自然科学技术的话,那么这个新的系统除了自然科学技术外,还需要社会科学与人文科学。如何组织管理好这个系统,也需要系统工程,但工程系统工程处理不了这类系统的组织管理问题,这类问题的解决需要的是社会系统工程。

应用社会系统工程也需要有个实体部门,这个部门就是钱老提出的运用综合集成方法的总体设计部,这个总体设计部与航天型号的总体设计部比较起来已有很大不同,但从整体上研究与解决问题的系统科学思想还是一致的。可以说,总体设计部是运用综合集成方法,应用系统工程技术的实体部门,是实现综合集成工程的关键所在。没有这样的实体部门,应用系统工程技术也只能是一句空话。

目前国内还没有这样的研究实体,有的部门有点像,但研究方法还是传统方法。与目前存在的各种专家委员会不同,总体设计部不仅应该是个常设的研究实体,而且应该以综合集成方法为其基本研究方法,并用其研究成果为决策机构服务,发挥决策支持作用。从现代决策体制来看,在决策机构下面不仅有决策执行体系,还有决策支持体系。前者以权力为基础,力求决策和决策执行的高效率和低成本;后者则以科学为基础,力求决策科学化、民主化和制度化。这两个体系无论在结构、功能和作用上,还是体制、机制和运作上都是不同的,但又是相互联系的。两者优势互补,共同为决策机构服务。决策机构则把权力和科学结合起来,变成改造客观世界的力量和行动。

从我国实际情况来看,多数部门是把两者合二而一了。一个部门既要做决策执行又要做决策支持,结果两者都可能做不好,而且还助长了部门利益。如果有了总体设计部和总体设计部体系,建立起一套决策支持体系,那将是在决策与

管理上的体制机制创新和组织管理创新，其意义和影响将是重大而深远的。

钱学森一直大力推动系统工程特别是社会系统工程的应用，为了把社会系统工程应用到国家宏观层次上的组织管理，促进决策科学化、民主化和组织管理现代化，曾多次提出建立国家总体设计部的建议。1991年3月8日，钱老向当时的中央政治局常委集体汇报了关于建立国家总体设计部的建议，受到中央领导的高度重视和充分肯定。十几年过去了，由于种种原因，钱老的这个建议至今也没有实现。但是，大量的事实越来越清楚地显示出这个建议的重要性和现实意义。

一个企业、一个部门甚至一个国家的管理，首要的问题是从整体上去研究和解决问题，这就是钱老一直大力倡导的“要从整体上考虑并解决问题”^[10]。只有这样，才能把有关系统的整体优势发挥出来，收到 $1+1>2$ 的效果，这就是基于系统论的系统管理方式。但在现实中，从微观、中观直到宏观的不同层次上，都存在着部门分割条块分立，各自为政自行其是，只追求局部最优而置整体于不顾。这里有体制机制问题，也有部门利益问题，还有还原论思维方式的深刻影响。这种基于还原论的管理方式，使得系统的整体优势无法发挥出来，其最好的效果也就是 $1+1=2$ ，弄不好还会 $1+1<2$ ，而这种情况可能还是多数。

系统管理方式是钱老综合集成思想在实践层次

上的体现。因此，总体设计部、综合集成方法、系统工程特别是社会系统工程技术的紧密结合，就成为系统管理方式的核心内容。我国正在进行国家创新体系建设，以增强自主制度能力，实现创新型国家的宏伟目标。在这个过程中，我们不仅需要科学理论创新、应用技术创新，也迫切需要组织管理创新，系统管理方式完全可以为此做出独特的贡献。

参考文献

- [1] 钱学森, 许国志, 王寿云. 组织管理的技术——系统工程[N]. 文汇报, 1978. 9. 27.
- [2] 钱学森. 大力发展系统工程尽早建立系统科学体系[N]. 光明日报, 1979. 11. 10.
- [3] 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, 13(1): 3–10.
- [4] 钱学森. 开创复杂巨系统的科学与技术[J]. 系统工程学报, 1995, (1).
- [5] Gallaghe R and Appenller T. 超越还原论[C]. 戴汝为主编. 复杂性研究文集. 北京: 中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学实验室, 1999.
- [6] 李政道. 新世纪: 微观与宏观的统一[J]. 科学世界, 2000, (1).
- [7] 钱学森. 系统工程与系统科学的体系[C]. 论系统工程(新世纪版). 上海: 上海交通大学出版, 2007.
- [8] 钱学森. 人体科学与现代科学技术发展纵横观[M]. 北京: 人民出版社, 1996.
- [9] 钱学森. 我们要用现代科学技术体系建设有中国特色的社会主义[C]. 创建系统学(新世纪版). 上海: 上海交通大学出版社, 2007.
- [10] 钱学森. 要从整体上考虑并解决问题[C]. 创建系统学(新世纪版). 上海: 上海交通大学出版社, 2007.

System Engineering Development and Application

Yu Jingyuan

(No.710 Institute, China Aerospace Science and Technology Group, Beijing 100048)

Abstract: This paper introduces meta-synthetic methodology advanced by Qian Xuesen, which promotes system engineering to a new phase of complex giant system engineering and social system engineering. It also illustrates that Department of Integrative System Design is the kind of organization to practice meta-synthetic methodology and system engineering technologies, which is the key to meta-synthetic engineering. The paper then expounds the application value and significance of these advancements.

Key words: meta-synthetic methodology; complex giant system engineering; social system engineering; Department of Integrative System Design

责任编辑：王大洲