

- ▶ 论文投稿
- ▶ 关于论文发布证明

- ▶ 学术活动厅
- ▶ 专家讲座
- ▶ 中华管理论坛章程
- ▶ 个人专栏



系统工程的应用和发展

于景元 中国航天工业总公司七一〇所

(中国软科学研究会学术论文)

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。一方面是学科越分越细,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、综合与融合,向综合和整体化的方向发展。这两种趋势相辅相成,互相促进,推动着现代科学技术迅速发展。

管理科学技术就是这后一趋势中的一个重要领域,它是自然科学、社会科学与工程技术相互交叉与综合的研究与应用领域,用于组织管理与决策。从应用角度看,它涉及到国家各个方面、各个层次,从微观到宏观,从行业到部门、从中央到地方。从内涵上看,人类社会从农业经济到工业经济都已表明了管理也是生产力,正在兴起的以知识为基础的经济,管理就更重要了。所以,管理科学技术不仅是第一生产力,同时也是科教兴国的重要支撑力量。

管理科学技术的产生,归根到底来自社会实践的需要。它的发展也将随着科技进步。经济社会发展而发展。特别是当前以计算机、网络和通信为核心的这场信息革命,实际上是一次新的产业革命,必将对组织管理提出新的和更高的要求。世界上各发达国家都普遍重视这一领域的研究、应用和发展。对于我国来说,改革开放和社会主义现代化建设,是空前复杂的社会实践,迫切需要现代管理科学的理论方法与技术,同时也提出了许多新的问题需要研究与解决。当前,我国正在实现两项具有全局意义的根本性转变。这两项转变不会是自动实现的,要在党的领导下,动员全国人民经过努力奋斗才有可能实现。在这个过程中,决策科学化、民主化和组织管理现代化,具有重要意义。在一定意义上讲,实现两项根本性转变的关键,在于组织管理的转变,由以经验管理为主向以科学管理为主的转变。

系统工程是组织管理系统的技术,是从整体上研究和解决问题的科学方法。本文仅就它的应用与发展作些介绍,不妥之处,请批评指正。

一、实践需要管理科学技术

我们知道,无论是改造和利用自然界用以发展社会生产力的工程,还是变革社会调整生产关系和上层建筑以适应生产力发展的社会工程,从根本上来说,都是社会实践,是工程实践。社会实践的特点是有明确目的性和组织性。要清楚干什么、为什么要干、能不能干以及怎样干才能干得好的问题。随着科学技术的发展,生产力的提高和社会的进步,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。在这种情

况下，社会实践决不是想干什么就干什么，想怎么干就怎么干。社会实践不仅有自然属性，还有社会属性，甚至包括人的精神属性，这三个层次的特点，使社会实践具有高度的综合性、系统性、动态性和复杂性。它不容许我们孤立地、静止地处理。

实践作为一个过程，包括实践前形成的思想、设想、规划、方案、计划以及可行性等，都应进行科学论证，以使实践的目的性建立在科学基础上，向不是建立在经济甚至感情和意志的基础上。研究、解决和回答这些问题，就涉及到决策科学化的问题；也包括实践过程中要有科学的组织管理与协调，保证实践的有效性，要有效率和效益，以取得最好的效果。还包括实践后的评估和总结，检验整个实践的科学性和合理性，以利于今后再实践，这是个正反馈过程，而这些问题又涉及到科学的组织管理问题。对于一项具体实践或工程，以上这些问题都是关系到工程实践全局的整体问题或总体问题、在实践比较简单的情况下，根据已有的经验和经验知识也许就能够解决这些问题。但对复杂的社会实践或重大工程，情况就大不一样了。

如航天工程、火箭、导弹、航天器的研制是一项大规模的工程。这项工程的最终产品本身就是个复杂的系统。它包括了许多组成部分，每个部分又由许多仪器、组件构成，每个仪器和组件又由许多单元、元件所组成，它们紧密联系在一起，构成一个能够完成给定任务的实际系统，从研制内容上来看，包括了研究、设计、试制、试验和定型、生产以及交付使用；从科学技术角度看，涉及到多种学科、多种专业；从研制过程来看，包括预先研究、型号研制、正式生产三个阶段。对每类型号，都要同时有一个型号正在生产阶段，又有一个型号正在研制阶段，还有一个正在预先研究阶段，这就是“三步棋”的管理安排。从投入角度来看，这样大的工程需要投入大量人力、物力和财力。面对这样复杂的工程，如何进行组织管理，才能研制出技术上合理、经济上合算、研制周期短、质量可靠又。满足系统指标要求的实际产品。如果没有一套科学的组织管理方法与技术，这样复杂的大工程是难以取得成功的。

当今世界各国都高度重视可持续发展问题，我国已把它作为一项国家基本发展战略。可持续发展就其实质而言，是解决人与自然之间协同发展的问題。人类在大自然面前，既不是无所作为，但也不能为所欲为，任何违反客观规律的作法，到头来不仅不能发展，甚至连生存都将成为问題。这个问題对我国尤为紧迫和严峻，解决可持续发展的途径。战略、规划、政策措施和重大工程实施等的决策问题，仅靠自然科学技术已经不够了，因为它还涉及到社会，但仅靠社会科学也不解决不了，需要的是把自然科学、社会科学和工程技术

结合起来的综合优势和整体力量，才有可能解决这些问题，即使这样，还要处理有可能至今我们尚未遇到和认识的新问题。像我国改革开放和社会主义现代化建设这样极其复杂的社会实践，就有许多从未遇到过的新问题，这样的实践就更力。复杂和困难因而也就更需要研究和探索。

改革开放以来，科学的春天也到来了。我国科技界的一些专家、学者，包括管理专家、自然科学家、社会科学家和工程技术专家，面对客观实际的需要，联合起来进行合作研究，取得了不少成果，也发挥了重要作用。在国家自然科学基金委员会管理科学部成立大会上，朱镕基同志曾指出“管理科

学，兴国之道”。从这一点来看，我们应大力，加强和发展我国的管理科学技术。

二、系统工程是组织管理系统的技术

系统工程是本世纪40年代，由美国贝尔电话公司在设计电话通信网络时提出来的。半个世纪以来，系统工程得到了迅速发展和广泛应用。系统工程是组织管理系统的技术。对任何一项具体实践或工程，都是一个实际的具体系统；是有人参与的物质系统。因此，有关系统的理论方法和技术都可以应用到具体实践或工程中去，这就是系统工程能在组织管理和决策中发挥作用的根本原因。当然，在应用到具体系统时，还应和这个系统的特点结合起来。

所谓系统，是指由互相关联、互相制约、互相作用的一些部分所组成的具有某种功能的有机整体。这样定义的系统，在自然界、人类社会以及人自身是普遍存在的。相互关联、相互制约、相互作用的组成部分就是系统结构。组成部分本身也可能是个系统，是原系统的子系统，而原系统又可能是更大系统的组成部分，从而是更大系统的子系统，这就是系统的层次结构。系统组成部分之间互相关联、相互制约、相互作用，是通过物质、能量和信息交换形式实现的。

一个系统以外的部分称作系统环境，系统与其环境也是通过物质、能量和信息的输入、输出关系相互联系的。系统结构与系统环境决定了系统功能。因此，改变和调整系统结构与系统环境，可以达到改变系统功能的目的，特别是使系统具有我们希望的功能，这正是系统工程所要实现的目标和具有的特点。

具体来说，系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法。它从系统整体出发，根据总体协调的需要，综合运用有关科学理论与方法，以计算机为工具，进行系统结构与功能分析，包括系统建模、仿真、分析、优化、运行和评估，以求得最好的或满意的系统方案并付诸实施。

直接为系统工程提供理论方法的有运筹学、控制论、信息论、系统学等，还有数学和计算机技术。由于实际系统不同，用到到那类系统上，还得用到与这个系统有关的科学理论、方法与技术。从这些特点来看，系统工程不同于其它技术，它是一门综合性的整体技术，又是一门定量技术。是从整体上研究和解决问题的科学方法。

系统工程研究与应用，需要专家群体按一定组织方式和程序协同工作，以我国航天工程为例，航天工程的组织管理包括两个方面：

1. 由总体设计部对航天工程系统进行科学的技术管理。总体设计部由熟悉这个工程大系统各个方面专业的技术人员组成，并由知识面比较广泛的专家（称作总设计师）负责领导。根据任务要求，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，对它所有技术要求都首先从实现这个更大系统技术协调观点来考虑；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观点来

考虑；总体设计部对研制过程中分系统之间的矛盾、分系统和系统之间的矛盾，都首先从总体协调的需要来考虑，进行总体分析、设计和协调，并采用系统建模和仿真技术，包括数字仿真和半实物仿真，以实现系统方案的整体优化。把这样设计的总体方案和技术途径，作为决策机关决策时的科学依据。

2. 管理机关用管理信息系统对航天工程系统实行科学的计划管理，制定和实施工程的各项计划，并进行动态调整。计划管理与协调以技术管理为基础，而技术管理所确定的总体方案和技术途径要通过计划管理来实施，合理使用人力、物力和财力，确保任务的完成。这就是航天系统工程中两条指挥系统，是实现航天系统工程的一种组织管理体制和机制。前者体现了以科学技术知识为基础的技术决策参谋和决策支持作用，以保证决策的科学化和民主化，采用的是工程系统工程方法，后者体现了以知识和权力为基础的决策执行作用，以保证决策实施的有效性（效率和效益），为此也要采用系统工程方法。这两套体系的作用与功能是不同的，但却是相互协同与协调的，决策者或决策机构则把两者有机结合起来，变成了改造客观世界的物质力量。系统工程技术以及应用这项技术相应的体制与机制（如总体设计部），在我国航天事业发展中，发挥了重要作用。同时也从实践中证明了系统工程的科学性和有效性。在国外，系统工程应用的一个典型案例就是阿波罗登月的成功。60年代开始的美国“阿波罗载人登月计划”，参加者有42万多人，2万多厂家，他们的总体设计部设在NASA，最后取得了登月成功。成功后美国人首先宣布，这是系统工程的胜利。

三、系统工程的发展

系统工程的发展包括两个方面，一方面是它的应用范围不断的扩大，不仅用于工程系统，也可以用到其它系统中去；另一方面是系统工程方法的发展，可以用来处理更加复杂的系统，这两者也是相互促进的。

20年前，钱学森、许国志、王寿云发表了“组织管理技术——系统工程”一文。这篇文章对我国系统工程应用和发展，起到了很大推动作用。从那以后，系统工程开始应用到军事系统、经济系统、人口系统、社会系统、地理系统、地区规划、能源、交通、通信等各个方面，取得了一些有意义的成果，为政府和有关部门的管理和决策提供了科学依据。

随着系统工程应用范围的扩大和发展，所要处理的对象越来越复杂，如上述的一些系统，层次结构复杂、动态性很强，又有许多不确定性因素，已有的方法难以处理这类系统，这些问题在国外也是在不断探索之中。如美国兰德公司提出的特尔斐法，就是一种综合专家智慧的方法；设地维也纳的国际应用系统分析研究所，所开发的实用决策支持系统（DSS）以及最近几年提出的集成系统工程，都是这种探索的结果。但是，这个问题所涉及的不仅仅是一种技术方法的问题，它实际上还有更深刻的科学背景，这就是科学；方法论的问题。

在科学发展史上，一切以定量研究为主要方法的科学，称为“精密科学”，如自然科学。而以思辨方法和定性描述为主的科学，称为“描述科学”如社会科学。最近20年来，国外又出现了所谓“复杂性”研究。

从近代科学到现代科学，还原论方法发挥了重要作用。这个方法是把事物分解开来进行研究，然后再汇合起来，以为低层次或局部问题弄清楚了，高层次或整体问题也就自然清楚了。但系统理论表明，高层次或整体事物可以具有低层次或局部事物所没有的性质。在把系统分解后，系统整体性质在局部层次上就可能消失了。在这种情况下，即使局部研究得再清楚，也还回答不了整体问题。简单地说，还原论方法可以解决 $1+1=2$ 的问题，但解决不了 $1+1 \neq 2$ 的问题，复杂性或复杂系统问题正是这类问题。本世纪40年代，奥地利理论生物学家彼塔朗菲，在生物体研究中就已意识到还原论方法的局限性，提出了整体论和整体论方法，这是科学观念上一次很大的进步，但由于当时科学技术水平所限，还没能解决整体论方法的问题。SFI科学家们很重视计算机技术在复杂性研究中的应用，在人脑系统、经济系统、生态系统研究中，取得了一定进展。他们所开发的遗传算法、格子自动机等都是有用的研究手段。在1995年“科学美国人”上的一篇文章“复杂性研究的发展趋势：从复杂性到困惑，报导了他们取得的成就，也说明了他们感到困惑的问题”。

在我国，80年代初钱学森曾提出将科学理论、经验知识、专家判断力相结合的半理论、半经验的方法处理复杂系统问题。当时，为寻求用定量方法处理复杂行为系统，很重视数学模型的逻辑处理，而忽视数学模型微妙的经验含义和解释，这样的模型，看起来理论性很强，其实不勉牵强附会，从而脱离真实，数学模型必须建立在对系统的实际理解和经验上，要重视经验判断，而不能简化处理。后来在他指导下的系统学讨论班上，又继续进行方法论的探索。在总结了国内外有关研究进展的基础上，钱学森根据复杂性的层次，对系统进行了新的分类，把不能用传统方法处理而需要用新的方法处理的系统，称为开放的复杂巨系统。这类系统的特点是子系统数量大，子系统相互关联、相互制约、相互作用关系复杂（高度非线性、动态性、不确定性），且有复杂的层次结构，如社会系统、地理系统（包括生态系统）、人脑系统等都是这类系统。到了80年代末，一方面明确了SFI科学家们所说的复杂性就是开放的复杂巨系统的动力学问题；另一方面，明确地提出处理开放的复杂巨系统的方法是“从定性到定量综合集成方法”

（Metasynthesis），作为一项技术又称为综合集成技术，作为一项工程亦可称作综合集成工程。后来又发展到“从定性到定量综合集成研讨厅体系”。

在复杂巨系统研究中，通常的科学理论、经验与专家判断力（专家的知识、智慧和创造力）相结合，形成和提出经验性假设（猜想、判断、方案等）。一方面，在自然科学中，对这类经验性假设，通常要用严密逻辑推理和精确的物理、化学、生物实验来证明这些猜想、判断等正确与否。但在复杂巨系统研究中，不能完全用这种科学方式解决问题，否则也就不是复杂巨系统问题了。另一方面，通过定量研究进行精密论证，又使我们不能满足于一般定性描述和思辨方法。现代计算机技术以及基于计算机的知识工程、人工智能和信息技术的发展，为我们开辟了新的途径，这就是人、机结合，人机优势互补，实现以人为主的知识和信息的综合集成，这里包括了不同领域的科学和经验知识、定性和信息定量的知识、理性和感性的知识，通过人机交互、反复对比逐次逼近，实现从定性到定量的转化，达到定量认识，从而对经验性假设的正确与否作出明确结论。这样的结论就是现阶段对客观事物认识的科学结论。

这个方法的实质就是专家体系、数据和信息体系与计算机体系的有机结合，构成一个高度智能化的人机结合系统，这个方法的应用就在于发挥这个系统的综合优势、整体优势和智能优势。它比起单纯靠人（专家）或机器都有更强的优势。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。从这一点来看，这个方法是走“精密科学”之路的方法论。

应该指出的是，这里的人机结合，从信息处理角度来看，是人脑信息处理与计算机信息处理的结合。思维科学研究表明，人脑的逻辑思维是定量和微观信息处理方式；形象思维是定性和宏观信息处理方式。人的创造性主要来自创造思维，而创造思维则是逻辑思维和形象思维的结合。今天的计算机技术，在逻辑思维方面，可以给人以很大帮助，甚至能代替人做很多事情，在这方面已经取得了很大成就。但在形象思维方面，目前的计算机还不能给人以多少帮助，主要靠人脑。至于创造思维只能靠人脑。所以，人机结合始终以人为主，期望完全靠机器自动来解决复杂巨系统问题，至少目前是行不通的，这可能就是SFI科学家们困惑的原因所在。

需要说明的是，应用这个方法时，也要求系统分解，在分解后研究的基础上，再综合集成到系统整体，实现 $1+1>2$ 的飞跃，达到从整体上研究和解决问题的目的。综合集成方法吸收了还原论方法和整体论方法的优点，是还原论和整体论的结合，也弥补了各自的局限性。

目前，这个方法已应用到社会经济系统、军事系统以及可持续发展总体战略研究之中。这是一个人机结合系统。根据研究问题涉及到的学科和专业范围，组成一个知识结构合理的专家体系。在机器体系方面，通过信息体系、模型体系、指标体系、评价体系、方法体系以及支持这些体系的软件工具的集成，实现系统的建模、仿真、分析与优化，应用的效果是很好的。这一过程通过案例便可以得到清楚说明，但因篇幅所限，这里就不详细介绍了。

机器体系的功能，随着信息技术的发展，具有很大的潜力，上述机器体系的建立仅仅是开始。如最近报道的美国普赖尔主持的“阿斯彭”系统的原型研究，建立了“灵境（virtual Reality）动态经济模型”。灵境技术的应用，就不仅是人机结合，而是人机合一，是人机融合，具有更强的能力。

综合集成方法从提出到现在，也不过10年的时间，它本身也还有许多问题需要研究。国家自然科学基金委员会已立项的“支持宏观经济决策的人机结合综合集成体系研究”，是一个跨管理科学部、信息科学部的重大研究项目，也是为了支持这方面的研究而设立的。

从以上有关综合集成方法的讨论，可以看出，它可以用来处理更加复杂的系统。这样，也使系统工程由工程系统工程发展到复杂系统工程，特别是复杂巨系统工程。社会系统工程就是典型的复杂巨系统工程。这就使系统工程进入到了一个新的阶段。

如同工程系统工程一样，社会系统工程的研究与应用，也需要有相应的体制和机制，如航天系统工程总体设计部的体制与机制，就十分有效。对社会系统工程来说，情况就复杂多了，目前还没有形成相应的体制与机制，但

这已不完全是个学术问题了，它是和我国现行的管理与决策体制有关，建立起适应社会主义市场经济的管理与决策体制，需要通过改革逐步来解决。虽然如此，社会系统工程的研究还是可以进行并应大力发展的，以便为党和政府决策的科学化、民主化和组织管理现代化做出应有的贡献。

最新文章：

- [官僚意识与人文精神](#) 曾飞
- [立此存照：高尚与丑陋的反思](#) 小龙
- [国际贸易可持续发展的环境约束](#) 陈柳钦
- [当“优秀工”成了鸡肋](#) 韩成杰
- [知识生产管理](#) 侯象洋
- [中国移动品牌文化的硬伤及危害](#) 韩城
- [管理升级——给准备带领企业越冬的企业家](#) 张驰
- [重大疾病保险 职工的保护神](#) 周书勇
- [有效在线体验——为什么你的VOC项目对提升在线客户满意度的帮助很小](#) 李翊玮 等
- [和谐生产方式基本原理](#) 张西振
- [新劳动合同法对企业的影响及企业的应对策略](#) 高磊
- [时间管理在企业中的应用](#) 高磊
- [李老庄村农业劳动力不足的问题研究](#) 陈杰
- [更多文章...](#)