

110th



钱学森系统科学和系统工程的 成就与贡献 ——从系统思想到系统实践的创新（下）

■ 中国航天系统科学与工程研究院 于景元

今年是著名科学家钱学森院士诞辰110周年。

钱学森的一生是科学的一生、创新的一生和辉煌的一生。在长达70多年丰富多彩的科学生涯中，钱老建树了许多科学丰碑，对现代科学技术发展和我国社会主义现代化建设，都作出了巨大贡献。

• Aerospace China 2022.1 •

(接上期)

三、系统工程和系统实践论

系统科学思想、系统论、系统科学和复杂巨系统科学体系不仅具有非常重要的科学价值,还有极其重要的实践意义和现实意义。

从实践论观点来看,任何社会实践,特别是复杂社会实践,都有明确的目的性和组织性,并有高度的综合性、系统性和动态性。

社会实践通常包括3个重要组成部分:一是实践对象,就是干什么,它体现了实践的目的性;二是实践主体,是指由谁来干和怎么干,它体现了实践的组织性;三是决策主体,它要决定干不干和如何干的问题。

从系统观念和系统思维来看,任何一项社会实践都是一个具体实践系统的实践,实践对象是个系统,实践主体也是系统且人在其中,把两者结合起来还是个系统,即实践系统。因此,社会实践是系统的实践,也是系统的工程。正如钱老所说:“任何一种社会活动都会形成一个系统,这个系统的组织建立、有效运转就成为一项系统工程。”

这样一来,有关社会实践或工程的组织管理与决策问题也就成为实践系统的组织管理和决策问题。在这种情况下,系统科学思想、系统论、系统科学和复杂巨系统科学理论、方法与技术,应用到社会实践或工程的组织管理与决策之中,不仅是自然的也是必然的,它体现的是系统观念和系统实践论。而系统实践又推动着系统工程和系统科学的发展和应用。这就是为什么系统科学和系统工程具有广泛应用性和强大生命力。

但在现实中,真正从系统观念和系统思维去考虑和处理社会实践与工程的组织管理,并用系统工程去解决问题,还远没有深入各类社会实践和工程之中。

人们在遇到涉及的因素多而复杂、且难于处理的社会实践或工程的组织管理问题时,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,如上所述,这是系统的实践或系统的工程;另一层含义是从科学技术角度来看,既然是系统的工程或

实践,这个实践系统的组织管理就应该用系统工程技术去处理,因为系统工程就是直接用来组织管理系统的技术和方法,是对所有系统都适用的。技术和工程是辩证统一不能割裂的。

可惜的是,人们往往只注意到了前者,相对于没有系统观念的社会实践和工程来说,这也是个进步,但却忽视或不了解要用系统工程技术去解决问题,还没有把系统观念贯穿到社会实践的整个过程。结果就造成了什么都是系统工程,但又没有用系统工程去解决问题的局面。

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是成功地应用了系统工程技术。

以导弹、卫星、载人航天等航天科技为代表的大规模科学技术工程,如何把成千上万人组织起来,并以较少的投入在较短的时间内研制出高质量、高可靠的型号产品,这就需要有一套科学的组织管理方法与技术。

大规模科学技术工程是这样一类工程:既有科学层次上的理论问题要研究解决,又有技术层次上的高新技术要开发,同时还要把这些理论与技术应用到工程实践中,生产出产品来并实现产业化或向其他产业扩散,以推动国民经济和社会发展与国家安全。从创新角度上来看,它把科学创新、技术创新、产品创新、乃至产业创新有机结合起来,实现了综合集成创新。

这类工程的特点是规模大、投入高、影响大、难度也大,具有跨学科、跨领域、跨层次、跨部门的特点。由于研制周期较长,通常采取使用一代、研制一代、预研一代、探索一代的并行发展战略。

航天系统中每种型号都是一个工程系统,在组织管理上是总体设计部和两条指挥线的系统工程管理方法。实践已证明了这套组织管理方法是十分有效的(见图6)。

对于实践对象系统(第一平面I),首先是从整体上研究和解决问题,即用哪些科学技术成果组成一个对象系统(工程系统),使其具有我们期望的功能。这就涉及工程系统的系统结构、系统环境和系统功能。完成这项工作需要有个研究实体,这就是工程总体设计部。

工程总体设计部由熟悉这个对象系统的各方面

专业人员组成,并由知识面较为宽广的专家(称为总设计师)负责领导。根据系统总体目标要求(型号系统的系统功能),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。

总体设计部把型号系统作为它所从属更大系统的组成部分进行研制,对它所有的技术要求都首先从实现这个更大系统的技术协调来考虑(型号系统的系统环境);总体设计部又把型号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(型号系统的系统结构)。总体设计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(型号系统的系统功能)的要求出发来协调和解决。

运用系统方法并综合集成有关学科的理论和技术,对型号系统的系统结构、系统环境与系统功能进行总体分析、总体论证、总体设计、总体协调、总体规划,把整体和部分与环境协调统一起来,给出系统总体方案。其中包括使用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总体方案,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。一旦为决策机构所采纳,再由相关部门付诸实施。

航天型号工程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过程中发挥了重要作用。

在第二平面Ⅱ中,根据已确定的总体方案,需要组织一个研制系统,这个系统涉及科研院所、大学、企业及国际合作等,要投入人力、物力、财力等资源。

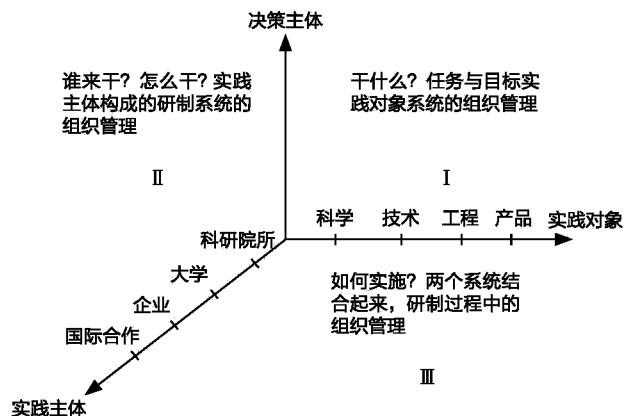


图6 系统工程管理方法

对这个研制系统的要求是合理和优化资源配置,以较低的成本在较短的时间内研制出可靠的、高质量的对象系统(工程系统)。这也需要系统工程来组织管理这个系统。但和上述工程系统不同,这里组织管理的是研制系统。这个系统也有系统结构、系统环境和系统功能的总体问题,还涉及研制体制、机制等问题。

在计划经济体制下,这个系统是靠行政力量进行组织管理的。在市场经济体制下,仅靠行政系统已不能完全胜任,还需要市场这个无形的手。研制系统是由不同利益主体构成的,如何组织管理好这个系统,在今天来看就显得更为复杂,这也正是需要我们创新发展的地方。

在第三平面Ⅲ中,把工程系统和研制系统结合起来进行研制,这是个动态过程,既有工程系统科学技术方面的组织管理与协调,又有研制系统研制主体的组织管理与协调,这就形成了两条线,一条是总设计师负责的技术指挥线,另一条是工程总指挥负责的调度指挥线,这两条线也是相互协调和协同的(见图7)。

上述工程总体设计部所处理的对象还是个工程系统,即工程系统工程。但在实践中,研制系统如何合理和优化资源配置等问题也需要总体设计。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。这个新系统还涉及体制机制、发展战略、规划计划、政策措施及决策与管理等问题。

显然,这个新系统要比对象系统复杂的多,属于社会系统范畴。如果说工程系统主要综合集成自然科学技术的话,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等。

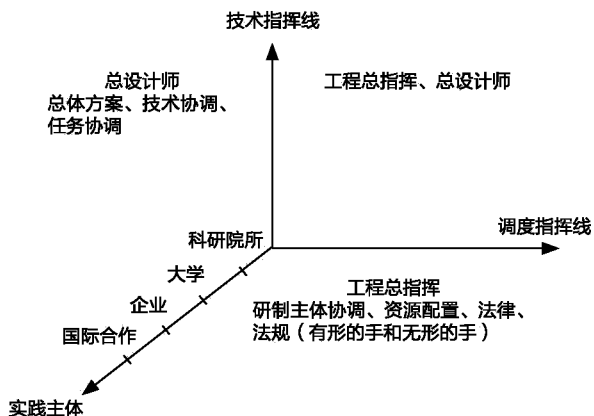


图7 技术指挥线与调度指挥线

组织管理好这个系统也需要系统工程,但系统工程处理不了这类系统的组织管理问题,而需要社会系统工程。应用社会系统工程也需要有个实体部门,这个部门就是前述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工程总体设计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系统管理问题的系统科学思想还是一致的。

总体设计部运用综合集成方法,应用系统工程技术,研究和解决系统实践和工程的组织管理问题,也就是把系统整体和组成部分与环境协调统一起来,从整体上解决问题的系统工程管理方式,它体现的是系统观念和系统实践论。

1978年,钱学森、许国志、王寿云发表了《组织管理的技术——系统工程》一文,并大力推动系统工程在各个领域中的应用,特别是致力于把社会系统工程应用到国家宏观层次上的组织管理,以促进决策科学化、民主化和组织管理现代化。

1991年10月,在国务院、中央军委授予钱学森“国家杰出贡献科学家”荣誉称号仪式上,钱老在讲话中说:“我认为今天的科学技术不仅仅是自然科学工程技术,而是人类认识客观世界、改造客观世界的整个知识体系,这个体系的最高概括是马克思主义哲学。我们完全可以建立起一个科学体系,而且运用这个体系去解决我们中国社会主义建设中的问题。”

这里所说的科学体系,就是钱学森建立的现代科学技术体系和人类知识体系,包括自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、地理科学、军事科学、行为科学、建筑科学、文艺理论等。

现代科学技术体系和人类知识体系为国家管理和建设提供了宝贵的知识资源和智慧源泉,我们应充分运用和挖掘这些知识和智慧,以集大成得智慧。而复杂巨系统科学中的综合集成方法和大成智慧工程,又为我们提供了有效的科学方法和有力的技术手段,以实现综合集成得大成智慧。

这就是钱学森把系统科学、复杂巨系统科学和社会系统工程技术运用到国家宏观层次组织管理的科学技术基础。为了把社会系统工程应用到国家层次上的组织管理,钱老曾多次提出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。习近平总

书记非常重视顶层设计和总体设计。

目前国内有的部门有些像总体设计部,但研究方法还是传统的方法。总体设计部也不同于目前存在的各种专家委员会,它不仅是个常设的研究实体,而且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。前者以法律、法规和权力为基础,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、民主化和程序化。

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,但又是相互协调和协同的,两者优势互补共同为决策机构服务。决策机构则把两者结合起来,形成改造客观世界的行动和力量。

从我国实际情况来看,多数部门是把两者合二为一了。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,那将是我们决策与管理上的体制机制创新和组织管理创新,其意义和影响也是重大而深远的。

一个项目、一个工程、一个单位、一个部门甚至一个国家的管理,都是不同类型系统的管理。系统管理的首要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”。只有这样才能统揽全局,把所管理系统的整体优势发挥出来,收到1+1>2的效果,这就是基于系统思维和系统实践论的系统工程管理方式。

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的问题。这里既有体制机制问题,也有部门利益问题,还有还原论思维方式的深刻影响。

这种基于还原论的分散管理方式使得系统整体优势无法发挥出来,其最好的效果也就是1+1=2,还可能是1+1<2,而后一种情况可能是多数。

综上所述,系统科学和复杂巨系统科学体系是系统认识论的体现;综合集成方法及其体系是系统方法论的体现;系统工程则是系统实践论的体现。

系统认识论、系统方法论和系统实践论便构成了钱学森系统论的主要内容，它不同于贝塔朗菲的一般系统论，后者还是整体论。正如钱老所说：“我们说的系统论不是贝塔朗菲的‘一般系统论’，比一般系统论深刻多了”。

系统认识论与系统科学和复杂巨系统科学体系反映了钱学森的系统科学思想；系统实践论与系统工程反映了钱学森的系统实践思想也就是系统工程思想；系统方法论与系统集成方法体系反映了钱学森的系统系统集成思想。

系统科学思想、系统实践思想和系统系统集成思想就构成了钱学森系统思想的主要内容。钱学森系统思想是对辩证唯物主义系统思想的重要发展和丰富。

综合起来可以看出，从系统思想到系统实践的整个创新链条中，在工程、技术、科学直到哲学的不同层次上，钱学森都作出了开创性贡献，并取得重大成就，这些系统性创新成就具有理论与实践的统一、哲学与科学统一的鲜明特色。这是一场在系统论指引下的科学革命和技术革命，它不同于以前发生过的历次科学革命和技术革命，具有更加广泛和深刻的影响，这是钱学森对现代科学技术发展的重大贡献。

1995年，在《我们应该研究如何迎接21世纪》一文中，钱学森明确指出：“系统科学是本世纪中叶兴起的一场科学革命，而系统工程的实践又将引起一场技术革命，这场科学和技术革命在21世纪必将促发组织管理的革命。”并进一步指出：“系统科学、系统工程和总体设计部与系统集成研讨厅体系紧密结合，形成了从科学、技术、实践三个层次相互联系的研究和解决社会系统复杂性问题的方法论。它为管理现代化社会和国家，提供了科学的组织管理方法与技术，其结果将使决策科学化、民主化、程序化以及管理现代化进入一个新阶段。”

从以上论述中可以看出，系统科学和复杂巨系统科学不仅是21世纪一个新兴的科学技术领域，同时，系统科学革命和系统工程技术革命还将在21世纪引起一场组织管理革命，这场组织管理革命对现代化社

会和国家管理的推动作用将是广泛而深刻的，其意义和影响也是重大而深远的。我们应高度重视系统科学和系统工程的发展和应用。

党的十九大胜利召开，标志着我国社会主义现代化建设已进入了新时代，这也为系统科学和系统工程的发展和应用带来了新机遇。党的十九届五中全会明确提出坚持系统观念，用系统观念来指导实践和推动工作。我们要大力发挥和推进系统科学和系统工程的革命性作用，为这个新时代的发展和进步作出应有的新贡献！

钱学森系统科学和系统工程的成就与贡献不仅充分反映出他的科学创新精神，同时也深刻体现出他的科学思想和科学方法。从知识结构来看，钱老即有学科和领域的深度，又有跨学科、跨领域的广度，还有跨层次的高度。若把深度、广度和高度看作三维结构的话，那么钱学森就是一位三维科学家。从科学视野来看，钱学森是一位名副其实的科学大师、科学泰斗，也是一位极富远见的战略科学家。

钱学森的科学成就与贡献来自他具有坚定的信仰与信念，高尚的情操与品德。钱老曾说：“我作为一名中国科技工作者，活着的目的就是为人民服务”。钱老的一生就是为此而奋斗的一生。从人民视野来看，钱学森也是一位名副其实的人民科学家。

一代宗师，百年难遇。钱学森是中国现代史上一位伟大的科学家和思想家，是中华民族的骄傲，也是中国人民的光荣！（完）

作者简介

于景元

博士生导师，曾担任北京信息与控制研究所副所长，中国系统工程学会副理事长，中国社会经济系统分析研究会副理事长。中国航天