

钱学森系统工程思想发展历程

郑新华, 曲晓东

网神信息技术(北京)股份有限公司, 北京 100015

摘要 钱学森是中国系统工程的开创者和奠基人。他根据中国航天的实践经验, 总结提出了具有中国特色的系统工程方法, 并进一步发展系统科学体系和系统集成方法等理论方法。通过回顾钱学森发展系统工程的历程, 不仅可以正确地理解钱学森系统工程思想方法, 也可以为发展体系工程找到思路和方法。

关键词 钱学森; 系统工程; 系统科学

1978年9月27日, 钱学森、许国志、王寿云联名在《文汇报》发表了一篇题为《组织管理的技术——系统工程》的文章^[1], 提出要大力发展组织管理的科学方法。这篇文章在中国掀起了研究系统工程的热潮, 是中国系统工程发展的重要里程碑。

2018年是钱学森的这篇文章发表40周年, 回顾钱学森系统工程的发展历程, 对于正确理解钱学森系统工程的内涵以及解决体系工程面临的有关问题, 都具有重要的意义。

1 探索系统工程方法

1956年, 钱学森向中国政府提交了《建立我国国防航空工业的意见》, 中国成立了国防部第五研究院, 钱学森任首任院长。从此以后20多年, 钱学森一直领导中国的导弹和航天的研制工作, 基于中国相当薄弱的工业基础和人才队伍, 运用先进的组织管理方法, 研制出了先进的导弹、火箭和卫星, 创造出了国内外公认的奇迹。

1961年, 国防部颁布《国防部第五研究院暂行工作

条例(草案)》, 这就是中国航天系统工程管理的开端。1962年, 中国自行研制的第一枚近程导弹飞行试验失败后, 钱学森组织科研人员认真总结了经验与教训, 在此基础上修改了《国防部第五研究院暂行工作条例(草案)》。它的核心内容有3项: 第一要强调总体设计; 第二要遵循研制程序; 第三要充分进行地面试验。这3条规定是对研制科学规律认识的深化, 奠定了中国航天系统工程的基础, 对航天事业初期的建设与发展起到了重大作用。后来, 中国航天又进行了组织机构调整, 将各研究院从专业研究院转变为型号研究设计院; 并逐渐形成了“一个总体部、两条指挥线”管理机制。至此, 在钱学森等人的领导下, 中国航天从科学技术、组织原理和体制机制等多方面综合创新, 形成了一套科学有效、具有鲜明中国特点的组织管理方法。

20世纪70年代初, 周恩来总理嘱托钱学森将中国航天的成功经验进行总结, 以推广到国家的其他重大工程 and 行业中去。按照周总理的建议, 钱学森开始总结航天的组织管理方法。1978年, 钱学森发表了《组织管理的技术——系统工程》, 对系统工程的概念、内涵、应用前景等作了说明。钱学森指出: 总体设计部的实

收稿日期: 2018-03-23; 修回日期: 2018-04-18

基金项目: 基础加强计划重点基础研究项目(2017-JCJQ-ZD-043)

作者简介: 郑新华, 高级工程师, 研究方向为系统工程、网络安全, 电子邮箱: zhengxinhua126@126.com

引用格式: 郑新华, 曲晓东. 钱学森系统工程思想发展历程[J]. 科技导报, 2018, 36(20): 6-9. doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.20.001

践,体现了一种科学方法,这种科学方法就是“系统工程”(systems engineering);“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^[1]。并指出系统工程在国家社会经济各个领域有广阔的应用前景。这篇论文被认为是系统工程在中国发展的一个里程碑,并逐步掀起了全国研究和应用系统工程的热潮。

由于国外对定量化系统思想方法的实际应用有不同的名称,钱学森根据许国志的建议,把用系统思想直接改造客观世界的技术,通通称为“系统工程”;直接为这些工程技术——系统工程服务的一些科学的理论,称为“运筹学”。1980年,钱学森在公开讲座中正式提出,将国外称为运筹学(operation research)、管理科学

(management science)、系统分析(systems analysis)、系统研究(systems research)以及费用效果分析(cost effectiveness analysis)的工程实践内容,均用系统的概念统一归入系统工程^[2]。钱学森的这个定义扩大了“系统工程”的含义,与国外systems engineering的含义(指建造和管理人造系统的方法)有很大区别。

钱学森指出,系统工程的重点在于应用,在不同的领域还需要相应专业基础。系统工程是一个总类名称,因体系性质不同,还可以再分:如工程体系的系统工程(像复杂武器体系的系统工程)称为工程系统工程,生产企业或企业体系的系统工程称为经济系统工程等。后来,钱学森列出了14个专业的系统工程,并表示还可以继续扩充^[2](表1)。

表1 各专业的系统工程

序号	系统工程专业	专业特有的学科基础	序号	系统工程专业	专业特有的学科基础
1	工程系统工程	工程设计	8	教育系统工程	教育学
2	科研系统工程	科学学	9	社会系统工程	社会学,未来学
3	企业系统工程	生产力经济学	10	计量系统工程	计量学
4	信息系统工程	信息学,情报学	11	标准系统工程	标准学
5	军事系统工程	军事科学	12	农业系统工程	农事学
6	经济系统工程	政治经济学	13	行政系统工程	行政学
7	环境系统工程	环境科学	14	法制系统工程	法学

2 建立系统科学体系

钱学森提出中国的“系统工程”概念以后,钱学森强调系统工程是工程技术,是一类包括许多门工程技术的一大工程技术门类,是一个专业。系统工程是要实践的,它的实践需要有具体的专业基础知识,离不开具体的环境和条件。因此,不能提“系统工程学”这样的概念^[2]。

在长期的科学研究工作中,钱学森提出了现代科学技术体系结构,可以概括为“三个层次、一个桥梁”的框架。1979年,钱学森明确指出系统科学与自然科学、社会科学一样,是现代科学技术体系的11个部门之一,它是从系统的角度来研究客观世界的科学,也可以分为3个层次。在工程技术层次,是系统工程。在技术科学层次,系统工程的学科基础包括运筹学、控制论、信息论等;他将国外所称运筹学、管理科学、系统分析、系统研究以及费用效果分析的数学理论和算法,统一地

看成是运筹学,它与外国的operation research的内涵也有所不同。在基础科学层次,就是系统学,系统学是研究系统结构与功能(系统的演化、协同与控制)一般规律的科学,它是需要创建的新的基础学科。这样3个层次结构的系统科学体系经过系统论通向马克思主义哲学,系统论属于哲学层次,是连接系统科学与马克思主义哲学的桥梁^[3]。从1986年开始,钱学森组织“系统学讨论班”;从1992年开始,钱学森又组织了小讨论班,希望通过讨论班集思广益、激发灵感,完成创建系统学的任务。但是,由于多种原因,建立系统学这个任务至今尚未完成。系统科学的体系结构见表2。

表2 系统科学的体系结构

现代科学技术体系结构层次	对应学科
哲学总论	马克思主义哲学
哲学分论	系统论
基础科学	系统学
技术科学	运筹学、控制论、信息论等
工程技术	系统工程

3 系统集成方法与社会系统工程

钱学森在开展系统工程研究时,提倡将自然科学的方法用于解决社会科学的问题。他曾提出“自然科学工作者和工程技术工作者进入社会科学领域,和社会科学工作者一道共同解决国民经济中的一些重大问题,是当代经济工作发展的新趋向。”“系统工程在自然科学、工程技术与社会科学之间构筑了一座伟大的桥梁。现代数学理论和电子计算机技术,通过一大类新的工程技术——各类系统工程,为社会科学研究添加了极为有用的定量方法、模型方法、模拟试验方法和优化方法。”^[12]钱学森非常重视国际应用系统分析研究所(IIASA)的研究模式。

但是,钱学森也特别提醒:“一个系统当然有人的干预,在概念上可以把人包括在系统之内,但现在的理论的发展还没有达到真能掌握人在一定情况下的全部机能和反应,所以把人包括到系统之中还形不成通用的理论;另一方面,系统工程的目前水平又一般地要有人干预,包括有时要发动群众出谋划策,所以还不能一般地搞一个没有人的系统,完全自动化。”^[13]因此,钱学森在提出解决“开放的复杂巨系统问题”的方法——从定性到定量的系统集成方法时,强调对于这样的复杂问题,不能寄希望于完全用定量的方法来解决,而是要发挥专家的作用,应用专家的智慧、经验来主导解决问题的思路和途径,定量的方法只是用来对专家提出的假定进行分析和计算,最后,还需要依靠专家对定量计算的结果进行评判,确定是否采信计算机得出的结果^[14]。

开放的复杂巨系统理论及系统集成方法是钱学森在系统科学领域提出的重大理论成果,具有重大的科学价值和现实意义,它们为人们解决复杂问题指明了方向。西方科学界曾在20世纪六七十年代,广泛推动用定量方法研究社会问题,但结果并不理想,无情的实践说明过分地量化、过分地数学模型化难以解决一些社会实际问题,专家经过反思发现这些学科之所以在社会经济与环境等问题上不能很好地应用,主要是方法论不对,处理问题过于依赖建立数学模型,定性考虑不够,特别是忽略了人的因素^[15]。西方科学界走过的弯路也反映了钱学森所提方法的科学性和适用性。

此后,钱学森大力倡导用系统集成方法来解决中国社会各领域存在的问题,及社会系统工程的系统分析和系统设计问题。1991年,钱学森向中央政治局常

委汇报了建立国家总体设计部的设想,他提出用系统集成方法来研究解决中国社会主义建设的重大问题,在多个领域设立开展这项工作的总体设计部^[6]。

在系统科学的基础上,钱学森进一步提出大成智慧工程、大成智慧学和大成智慧教育等观点。钱学森还在产业革命、人体科学、世界社会形态等领域提出了许多重要理论和观点,为科学技术和人类社会的发展指明了方向^[7]。

4 钱学森对中国系统工程的贡献

近年来,中国有多个工业行业正在积极推动系统工程的应用,遵循的方法和途径不同,产生的效果也不一样。关于钱学森系统工程思想在工程领域的应用,也有部分学者产生了不同的观点。通过回顾钱学森系统工程思想的发展历程,可以重新理解钱学森的系统工程思想和他对中国系统工程的贡献。

4.1 钱学森是中国系统工程的开创者和奠基人

钱学森在回国后一直关注国际先进技术(包括组织管理技术)的发展,1964年就提到了系统工程^[8]。1978年,钱学森在《文汇报》发表了那篇影响深远的文章以后,又陆续发表了社会、军事、农业等领域的系统工程论文,推动系统工程在各领域的应用。也是在钱学森的倡导下,中国建立了中国系统工程学会。由此可以看出,在20世纪七八十年代,钱学森不仅大力倡导系统工程,还身体力行推动系统工程的研究和应用工作,吸引中国各领域学者投身其中。正是因为钱学森的倡导和大力推动,系统工程才可能在中国形成如此巨大的影响,这在全世界是绝无仅有的。因此,钱学森是中国系统工程的开创者和奠基人,这是名至实归、当之无愧的。

4.2 钱学森对系统工程做了中国自己的定义

钱学森是一位学贯中西的科学大家,在组织管理领域,他并不屑于照搬西方的有关理论方法,而是根据中国的实际情况总结具有中国特色的管理理论和方法。他对西方比较混乱的概念进行了整理,把用系统思想直接改造客观世界的技术,通通称为“系统工程”,这个定义比国际上将系统工程局限于构建工程系统的范围要大得多。中国的专家学者根据钱学森的思路,在军事、社会、经济等领域应用系统工程的方法研究解决问题,取得了举世瞩目的成就,形成了“系统工程中

国学派”,也称为“系统工程钱学森学派”。因此,在研究系统工程理论方法时,不能简单地将钱学森所提的系统工程与西方文献进行比较,而应该注意二者的含义、应用范围和提出背景是不同的。

4.3 钱学森的系统工程思想对当前工作具有重要的指导意义

从1978年到现在,40年已经过去了。在这40年期间,系统工程的理论方法、实践经验和工具环境都已经得到了长足的发展。今天,应用系统工程的条件和环境已经得到了极大的改观,有各种可用的模型、知识库和软件工具。在应用这些具体的方法技术的同时,仍然要重视钱学森系统工程思想方法,尤其要重视总体设计方法和民主集中制原则;否则,容易陷入“只见树木、不见森林”和“水土不服”的困局,难以达成预定目标。

4.4 钱学森留给我们的重任是建成系统科学体系

按照钱学森提出的科学技术体系结构,系统科学在基础理论层次的“系统学”还没有建立,为了攻克这个难关,钱学森在75岁时还组织了“系统学讨论班”。钱学森指出,创建系统学是一次科学革命,它的重要性绝不亚于相对论或量子力学。但是,创建系统学的任务至今还未完成。现在,科学技术水平相比20世纪八九十年代已经有了翻天覆地的变化,钱学森已经为创建系统学做了许多基础性工作,希望新一代的科技工作者能够继承这一伟大事业,创建系统学,完善系统科学体系,在科学的发展史上,贡献中国智慧,提出中国方案。

5 结论

钱学森根据中国航天工程的实践,结合国内外科

技发展的先进成果,提出了具有中国特色的系统工程方法,并在中国航天事业和国防科技工程中发挥了重要作用。在这个基础上,钱学森继续发展系统科学体系,提出了综合集成方法。40年过去了,钱学森所倡导的系统工程在中国得到广泛应用,对中国社会、经济、科技、军事等各领域产生了重要而深远的影响。

体系工程问题属于钱学森所提到的复杂巨系统问题,我们要积极学习钱学森所提的系统工程思想方法,尤其是总体设计的思路 and 综合集成方法,首先从系统的角度来研究问题,选择正确的方法论解决具体技术和工程问题,而不宜过早被具体的建模方法技术束缚,从而影响整个主要问题的解决。

参考文献(References)

- [1] 钱学森. 组织管理的技术: 系统工程[N]. 文汇报, 1978-9-27 (1).
- [2] 钱学森. 论系统工程(新世纪版)[M]. 上海: 上海交大出版社, 2007.
- [3] 钱学森. 创建系统学(新世纪版)[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2007.
- [4] 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): 526-532.
- [5] 顾基发, 唐锡晋, 朱正祥, 等. 物理-事理-人理系统方法论综述[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7(6): 51-60.
- [6] 钱学森. 向中央领导同志汇报国家总体设计的问题(提纲)[Z]. 1991.
- [7] 李曦恒. 缔造大同: 钱学森“世界大同+共产主义”理想新论[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2017.
- [8] 张现民. 钱学森年谱[M]. 北京: 中央文献出版社, 2015.

Development process of Qian Xuesen's thought on systems engineering

ZHENG Xinhua, QU Xiaodong

Beijing Sysware Technology Co., Ltd., Beijing 100015, China

Abstract Mr. Qian Xuesen is the founder of China's systems engineering theory. According to the experience of China's aerospace industry, he summed up the systems engineering methods with Chinese characteristics, and further developed the theories of system science architecture and meta-synthesis method, etc. By reviewing development process of Qian Xuesen's thought on systems engineering, we can not only understand his thought on systems engineering correctly, but also find out guide and methods for developing SOS engineering.

Keywords Qian Xuesen; systems engineering; system science ●



(责任编辑 王志敏)