

论系统工程

钱学森等 著

目录

前言	iii
组织管理的技术——系统工程	1
coltocauthor 钱学森 许国志 王寿云	1
组织管理社会主义建设的技術——社会工程	8
coltocauthor 钱学森 乌家培	8
军事系统工程	12
coltocauthor 钱学森 王寿云 柴本良	12

前言

半个多世纪以来，在国际上系统作为一个研究对象引起了很多人的注意。在 40 年代中期，出现了“系统工程”（systems engineering）一词，这是对当时一些工程实践中卓有成效的新观点新方法的命名。这些工作绝大多数是电机工程师的创举。此外有一般系统理论，它渊源于理论生物学家贝塔朗菲¹。系统科学的早期工作多出于电子科学家和自动控制理论专家之手。当然还有在命名中并无“系统”二字，但实际与系统有密切关系的，如运筹学和管理科学等。波德²在为大英百科全书撰写的“系统工程”条目中，一开篇就叙述了系统工程与运筹学的关系。系统吸引了众多领域的专家来从事一些新的研究。不同的人从不同的侧面了解到一些特点，从而选择了他们认为适合的名称，但忽视了这些侧面却通过接口而形成的一个总体。于是“人各一词，莫衷一是”。不妨举下列二例。1976 年美国科学院约请一些专家编写了一个报告，讲述几个颇具实效的名例。但最后对这个报告的命名却产生了一点麻烦，于是不得不宣称采取权宜之计，妥协命名为“运筹学 / 系统分析”。此外，英国曾出版“国际系统工程学报”，问世不久，为了避免读者甚至是投稿人对“工程”一词的过分狭义理解，改名为“国际系统分析学报”。这就是西方对于系统工程的梗概。

近几年来，在高等院校、研究机构和工业、农业、军事部门科学工作者的共同努力下，我国系统工程和系统科学的发展，已有了一个很好的局面，而且一年比一年好，逐步形成了一支确实具有中国特点的系统工程和系统科学研究队伍。钱学森同志就是这支队伍中的一个成员。

早在 1954 年的英文版《工程控制论》第 18 章中，钱学森同志就讲到用重复不那么可靠的元件组成高度可靠的系统的问题。这大大超出了当时自动控制理论的一般研究对象了，实质上是系统学的问题。1955 年钱学森同志在和我们中的许国志同志讨论问题时，表示了把运筹学和社会主义计划经济结合起来的想法。钱学森同志比较深刻地理解系统工程、运筹学、控制论的关系，理解系统工程永远牵涉到人的因素，他也远比许多人更早地触及系统学的研究领域，因而钱学森同志在探讨系统工程时，处于更有利的位置。当然，他努力学习马克思列宁主义和毛泽东思想，并用马克思主义哲学来指导科研工作，也探讨如何用科学技术的新成果去丰富、深化马克思主义哲学。所以他在吸取国外现代科学技术知识之后，能甩掉脚手架，站得比有些人高一点。

钱学森同志的系统科学思想，首先表现在他提出了一个清晰的现代科学技术的体系结构，认为从应用到基础理论，现代科学技术可以分为四个层次：首先是工程技术这一层次，然后是直接为工程技术作理论基础的技术科学这一层次，再就是基础科学这一层次，最后通过进一步综合、提炼达到最高概括的马克思主义哲学。整个科学技术包括自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学和人体科学这六大部门。钱学森同志的系统科学思想也体现在他提出了一个清晰的系统科学结构。作为现代科学技术六大部门之一的系统科学，是由系统工程这类工程技术，系统工程的理论方法像运筹学、控制论和信息论这类技术科学，以及系统的基础理论系统学等组成的一个新兴科学技术部门。钱学森同志的系统科学思想还表现在：系统工程是组织管理的技术，也就是把传统的组织管理工作总结成科学技术，并使之定量数值化，以便运用数学方法；系统工程是一大类工程技术的总称而不是一个单一的学科，正如我们传统理解的工程是土木、机械、电机等等工程的总称一样。于是便将“人各一词，莫衷一是”的情况澄清为“分门别类，共居一体”。这就给系统工程一个确切的描绘，并进而就整个系统科学体系，论述了系统工程在其中所处的地位。

¹Ludwig von Bertalanffy (1901-1972)，奥地利理论生物学家，一般系统论的创始人。

²Hendrik Wade Bode (1905-1982)，美国电子工程师和控制理论专家。

人类认识现实世界的过程，是一个不断深化的过程，在真理的长河中，逐步前进。在古代，既少理论根据，又缺乏观测和实验手段，所以对许多事物，往往只能睹其外貌。犹如虽身处林海边缘，却只能望见一片“郁郁葱葱”。然而看到的却是林而不是树。随着科学技术的进展，道路通了，工具有了，可以深入林海，遗憾的是不知不觉地又只见树而不见林。认识是不断深化的，在对个体有了更多更好的了解以后，再回过头来，看到的就不仅是“郁郁葱葱”，而是“树密、根深、枝繁、叶茂”。许多文献中，在谈到系统工程之所以在本世纪中叶得到发展，往往归功于一些现代巨大研制项目的推动。这无疑是正确的。但是，钱学森同志却从上面谈到的这样一个认识过程吸取了营养来发展系统科学。贝塔朗菲认为生命科学的本质是“有机总体”，因而他主张，生物学的研究，不能单凭分析方法，更重要的是要从系统的角度出发，加以探讨。然而贝塔朗菲的早期工作，虚多实少。只有在普利高津³、哈肯⁴、艾肯⁵等人手中，用了更多、更深的物理、化学、数学的方法，方才取得了真正的进展。例如，钱学森同志认为，艾肯把生命起源、生物进化的达尔文学说，在分子生物学的水平上，通过巨系统高阶环理论，数学化了，提出了一个言之成理的自组织系统模型，并从这个模型推导出生物的一些生殖、遗传、变异、进化的性状。这就使得贝塔朗菲 40 多年前提出的问题有了解决的明确途径。钱学森同志吸取现代自然科学的研究成果，但绝不停留在这些已有的成果上面。他把这些成果作为建立系统科学的基础科学，一切系统的一般理论——“系统学”——的素材。他说：“我认为把运筹学、控制论和信息论同贝塔朗菲、普利高津、哈肯、弗洛里希、艾肯等人的工作融会贯通，加以整理，就可以写出《系统学》这本书。”他还说：“我看，‘耗散结构理论’、‘协同学’……都是过往云烟，留下的将是系统学。当然创造耗散结构理论和协同学的普利高津和哈肯是大有功劳的。”

在收入本书的钱学森同志的 20 篇论文中，我们是其中少数几篇论文的合作者。并在不同的情况下，对他的这一篇论文或那一篇论文的研讨和写作过程有所理解，或是阅读过初稿，或是参与过讨论，或是比较早地听过他的讲演。这为我们了解钱学森同志的系统科学思想提供了较好的机会。我们早有把钱学森同志的系统工程和系统科学论文编辑成册的想法，但迟迟未能实现。湖南省系统工程学会成立前后，长沙国防科技大学系统工程与应用数学系汪浩副主任与柳克俊副主任对这个想法深表热心，在几次晤谈中，多次敦促；湖南省系统工程学会秘书长汤国熙同志多方协助，我们在此一并致谢。

我们特别对湖南科学技术出版社表示衷心感谢。由于他们的大力支持、高效率的工作，这本论著得以尽早出版。他们的工作精神和作风，也值得我们学习。

许国志 王寿云 柴本良

1982 年 6 月于北京

³Ilya Prigogine (1917-2003)，比利时物理化学家，耗散结构理论的创始人，1977 年诺贝尔化学奖获得者。

⁴Hermann Haken (1927-)，德国物理学家，协同学的创始人。

⁵Manfred Eigen (1927-2019)，德国生物物理化学家，1967 年诺贝尔化学奖获得者。

组织管理的技术——系统工程

钱学森 许国志 王寿云

1978 年 9 月 27 日

要完成新时期的总任务，在本世纪末实现农业现代化、工业现代化、国防现代化和科学技术现代化，把我国建设成为社会主义的强国，必须大大地提高我国科学技术水平，这是大家所认识了的。中央领导同志多次指出，我们现在不但科学技术水平低，而且组织管理水平也低，后者也影响前者。要解决组织管理水平低的问题，首先要认识这个问题，要认识这个问题的严重性。只有充分认识我们的管理水平低，管理工作存在着混乱的情况，我们才能够切实地总结经验教训，不但学习和掌握先进的科学技术，而且要学习和掌握科学的先进的组织管理方法。否则，我们就会继续浪费时间、人力和资金，就不能完成我们在本世纪内要完成的宏伟任务。

有了认识只是第一步，还要做两方面的工作：第一个方面是要改革目前我国上层建筑中同生产力发展不相适应的部分，特别要大破小生产的经营思想，按照经济发展的客观规律改革组织管理。我国虽然早已是社会主义国家了，但意识落后于存在，小生产的经营思想还根深蒂固，我们不懂得用大生产的经济规律去组织生产，这就妨碍了生产力的发展。所以提高组织管理水平必须在上层建筑进行必要的改革。

第二个方面是要使用一套组织管理的科学方法。我国在科学的组织管理工作中的先行者是华罗庚教授，他在 60 年代初期就对“统筹方法”进行了系统的研究，并在大庆油田、黑龙江省林业战线、山西省大同市口泉车站、太原铁路局、太钢，以及一些省市公社和大队的农业生产中，推广应用，取得良好效果，得到毛主席和周总理的赞许和鼓励。我们在本文想就这第二个方面，讲点意见，也就是从总结组织管理的经验，讲讲建立起比较严密的组织管理科学技术体系，以及培养组织管理的科学人才，以此引起大家进一步的讨论，从一个侧面帮助管理水平的提高。

—

现在我们来讲一讲组织管理工作的历史发展情况。先从工程技术方面说起。在历史上，例如作为个体劳动者的一个泥瓦匠，他要造房子，首先要弄到材料，选定一个可行的方案，然后进行建设。他要建造一间什么样的房子，在他动手建造之前，房子的形象已经存在于他的头脑之中。他按照一定的目的来协调他的活动方式和方法，并且随着不断出现的新的情况来修改原来的计划。在整个劳动过程中，他既构想这所房屋的“总体”结构，又从每一个局部来实现房屋的建设；他是管理者也是劳动者，两者是合一的。后来生产进一步发展了，在于工业工场里，出现了以分工为基础的协作。马克思说：“许多人在同一生产过程中，或在不同的但互相联系的生产过程中，有计划地一起协同劳动，这种劳动形式叫做协作。”又说：“一切规模较大的直接社会劳动或共同劳动，都或多或少地需要指挥，以协调个人的活动，并执行生产总体的运动——不同于这一总体的独立器官的运动——所产生的各种一般职能。一个单独的提琴手是自己指挥自己，一个乐队就需要一个乐队指挥。”¹这是说明了职能的分工：在一切规模较大的工程技术中，都有“总体”，都有“协调”问题，都需要有个指挥来从总体运动的观点协调个人活动。在手工业工场里，这个指挥就是“监工”。后来生产进一步发展，在产业革命后出现的大工业的生产中，这个指挥就是“总工程师”。在制造一部复杂的机器设备时，如果它的一个一个局部构件彼此不协调，相互连不起来，那么，即使这些构件的设计和制造从局部看是很先进的，但这部机器的总体性能还是不合格的。因此必须有个“总设计师”来“抓总”，协调设计工作。

¹ 《马克思恩格斯全集》第二十三卷第 362、367 页

从 20 世纪以来,现代科学技术活动的规模有了很大的扩展,工程技术装置复杂程度不断提高。40 年代,美国研制原子弹的“曼哈顿计划”的参加者有 1.5 万人;60 年代,美国“阿波罗载人登月计划”的参加者是 42 万人。要指挥规模如此巨大的社会劳动,靠一个“总工程师”或“总设计师”是不可能的。50 年代末 60 年代初,我国为了独立自主,自力更生地发展国防尖端技术,开展了大规模科学技术研究工作,同样碰到了这个问题。总之,问题是怎样在最短时间内,以最少的人力、物力和投资,最有效地利用科学技术最新成就,来完成一项大型的科研、建设任务。

问题来了就促使我们变革。

我们把极其复杂的研制对象称为“系统”,即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体,而且这个“系统”本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。例如,研制一种战略核导弹,就是研制由弹体、弹头、发动机、制导、遥测、外弹道测量和发射等分系统组成的一个复杂系统;它可能又是由核动力潜艇、战略轰炸机、战略核导弹构成的战略防御武器系统的组成部分。导弹的每一个分系统在更细致的基础上划分为若干装置,如弹头分系统是由引信装置、保险装置和热核装置等组成的;每一个装置还可更细致的分为若干电子和机械构件。在组织研制任务时,一直细分到由每一个技术人员承担的具体工作为止。导弹武器系统是现代最复杂的工程系统之一,要靠成千上万人的大力协同工作才能研制成功。研制这样一种复杂工程系统所面临的基本问题是:怎样把比较笼统的初始研制要求逐步地变为成千上万个研制任务参加者的具体工作,以及怎样把这些工作最终综合成一个技术上合理、经济上合算、研制周期短、能协调运转的实际系统,并使这个系统成为它所从属的更大系统的有效组成部分。这样复杂的总体协调任务不可能靠一个人来完成,因为他不可能精通整个系统所涉及的全部专业知识。他也不可能有足够的时间内来完成数量惊人的技术协调工作。这就要求以一种组织、一个集体来代替先前的单个指挥者,对这种大规模社会劳动进行协调指挥。在我国国防尖端技术科研部门建立的这种组织就是“总体设计部”(或“总体设计所”)。

总体设计部由熟悉系统各方面专业知识的技术人员组成,并由知识面比较宽广的专家负责领导。总体设计部设计的是系统的“总体”,是系统的“总体方案”,是实现整个系统的“技术途径”。总体设计部一般不承担具体部件的设计,却是整个系统研制工作中必不可少的技术抓总单位。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技术协调的观点来看,总体设计部把系统作为若干分系统有机结合成的整体来设计,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看,总体设计部对研制过程中分系统与分系统之间的矛盾、分系统与系统之间的矛盾,都首先从总体协调的需要来选择解决方案,然后留给分系统研制单位或总体设计部自身去实施。总体设计部的实践,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”具有普遍意义的科学方法。我国国防尖端技术的实践,已经证明了这一方法的科学性。

正如列宁说:管理的艺术并不是人们生来就有,而是从经验中得来的。系统工程来源于千百年来人们的生产实践,是点点滴滴经验的总结,是逐步形成的,在近年才上升为比较完整的一门科学技术。

二

除了复杂的工程系统的组织管理技术的发展以外,还有另一个领域的发展,大企业的经营管理技术,这在国外也叫“经营科学”(management science),现在我们来讲讲这方面的发展情况。我们说,系统就是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体。这些组成部分称为分系统。虽然有意识地把工厂企业称作为一个系统,现在还不普遍,但使用“系统”这个词却很经常。例如我们常说某厂的财务系统(管钱的)或某厂的动力系统(管能源的)。就一个工厂而言,任何一个分系统,包括工厂本身这个整系统在内,都由下列六个要素组成。“人”当然是第一要素,其他五个要素分为物和事两类,物包括三个要素即:物资(能源、原料、半成品、成品等)、设备(土木建筑、机电设备、工具仪表等)和财(工资、流动资金等)。事包括两个要素:任务指标(上级所下达的任务或与其他单位所订的合约)与信

息（数据、图纸、报表、规章、决策等等）。从历史上一个个体劳动者泥瓦匠的工作开始，就包含这六个要素。那时人当然是有，不过是个体；砖瓦木料便是物资；斧锯瓦刀是设备；钱当然是个因素；任务指标是明确的；至于信息可能全部都存放在泥瓦匠这个人的头脑中。在现代的大工厂中，还是这六种要素，只不过规模空前地扩大。在工厂这个整系统中，各分系统之间的相互作用和相互依赖的关系，就凭这六个要素的流通而得以体现。

经营管理作为一门科学研究于 20 世纪初。可能第一个发现就是今天称之为“工时定额”的这门学问。这是关于工序的简单地说，就是研究一定的设备和条件下，某一道工序的最合理的加工时间。第二个发明是线条图²，这是有关调度计划的，可以说是后面我们讲的“计划协调技术”（简称 PERT）的先驱。再后来出现了质量控制，在这里质量不是一个个体部件的属性，而是一个统计概念，是一批同一种部件的属性。可以看到就在这时，数理统计或数学进入了经营管理的领域。这是一件大事，因为数学这个所谓科学的皇后被引进到工厂经营管理这样一种“简单”的事务中。但这些都是 1940 年以前的事，当时人们还没有有意识地认识到工厂是一个系统。最能说明这个问题的是工时定额与线条图。工序是线条图的组成部分，工序与工序之间本来存在着有机联系，但在线条图中没有得到明确的反映，因而线条图没有表达出系统这个概念。只是到了 50 年代，出现了计划协调技术，这种关系才以网络的形式得以表达。网络是某些系统的形象，最简洁的表达形式，它的成功应用和得到普遍承认，便是系统重要性的一个证明。

1940 年以后，由于工程技术的发展，人们对于系统的一个重要属性——信息反馈，逐渐加深了认识。其实信息反馈这一现象早在蒸汽机的调速器中就出现。当负荷增加（减少）时，车速就相应地减慢（增快），调速器便因离心力的作用而增大（减小）进汽阀门。负荷的变化这一信息便反馈到进汽应如何增加这一决策中来，并从而自动地作出正确的决策。一个工厂由于鼓足干劲，在某一时期中提前完成了任务指标，为了今后能超额完成任务，这一信息应反馈到材料供应等决策之中，这是人所尽知的事实。也许可以说，在工厂中，任何一个决策都或多或少地牵涉到某一系统的信息反馈。信息反馈失灵就会导致管理混乱。当然管理混乱还可能由于其他种种原因。

在一个工厂中，物流是有目共睹，并且受到极大的注意。物流的畅通与否，是管理人员极为关心的事。例如在一个钢铁联合企业中，原料进入高炉炼成铁水，一部分铸成铁块，一部分运往平炉车间炼成钢水，铸成钢锭后，一部分运往钢锭库，一部分运往初轧厂的均热工段，均热后进初轧机，然后再分别到各分厂轧制成钢材。在这个主要的物流中，伴随着许许多多的信息流。事实上，均热的温度控制就是一个典型的信息反馈。在泥瓦匠的工作中，信息几乎都是无形的，是存放在人的头脑中。随着生产规模的发展，头脑中房屋的形象变成了蓝图，铁匠师傅打铁看火候的经验演化为均热工段的加热时间表，会计员计算工资的方法成为计算机的一个程序。工厂的规模越大、越复杂，在这六个要素中，相对来说信息这一要素的增长就越大。生产越自动化，对信息传递的速度和准确度要求越高。物流的畅通与否在很大程度上依赖信息处理的好坏（包括信息加工、传输、存储、检索，以及各种大大小小的决策），因此信息这一因素日益受到重视，成为经营管理科学研究的中心课题之一。目前在我国的许多企业中，连最狭义的信息传递还处于相当落后的状态，要使我国工厂生产管理达到高水平也就不可能了。

人、物资、设备、财、任务和这六个要素，都要满足一定的制约。进行经营管理首先要认识这种制约，并从而准确地求得在制约下的系统的最优运转。制约分为两大类，一是经济规律的制约，一是技术条件的制约。如在计划协调技术中，物流必须满足技术条件所制约的加工先后顺序。认识这种制约才能画出网络并从而求得主要矛盾线。主要矛盾线所表达的完工时间又可能成为更大系统中某一工序的最优加工工时。在制约下求得总体最优是企业经营管理的一个重要概念。

通过六个要素，把一个复杂的生产体系组织管理好，需要科学，而这门科学也只是千百年来人们生产实践经验的总结，到 20 世纪初才有了一些具体结果；40 年代之后终于成了一门比较成熟的科学，即所谓经营科学。

²线条图是在计划协调技术出现之前习用的计划编制方法。按照这个方法，横坐标表示时间，用一个一线条表示一系列任务，线条的起始端对应于任务的开始时间，线条的终止端对应于任务的完成时间，线条长短表示计划速度的长短。线条图有助于表示长期计划，却缺乏表达各项工作之间依赖关系的能力。把线条分割为更细致的事件，再用箭头把它们的依赖关系表现出来，就成为计划协调技术的网络图的萌芽。

三

在国外常常把复杂工程系统的工程工作和大企业组织的经营管理工作并为一门科学系统，叫做“运筹学”（operations research）。其实这些概念都是近 30 多年来实践中发展起来的，当时认识不够深刻，用词也不一定妥当，现在该是总结明确的时候了。

不论复杂的工程还是大企业，以至国家的部门，都可以作为一个体系；组织建立这个体系，经营运转这个体系是一项工程实践，就如水利枢纽、电力网或钢铁联合企业的建设那样，是工程技术。所以应该统统看成是系统工程。当然，也正如我们习惯讲的工程技术又各有专门，如水力工程、机械工程、土木工程、电力工程、电子工程、冶金工程、化学工程等等一样，系统工程也是一个总类名称。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）叫工程系统工程，生产企业或企业体系的系统工程叫经济系统工程。国家机关的行政办公叫行政系统工程，科学技术研究工作的组织管理叫科学研究系统工程，打仗的组织指挥叫军事系统工程，后勤工作的组织管理叫后勤系统工程等等。也还可以再以专门工作方面来分，如档案资料的组织管理叫资料库系统工程，控制产品质量的组织管理叫质量保障系统工程等。

系统的概念和方法还可以用于更广泛的实践。除了上面讲的比较大的系统之外，设计一项不大的设备也要考虑设备各部件的协调，所以也要用系统的概念，因此在现有高等院校的工科专业中也讲一点系统工程。我们这里说的组织管理科学也是吸取了这些实践经验而发展扩大的。其实再小一点的事也得上系统的思想，如治病、要人、病、证三结合以人为主统筹考虑。这就是说要把人体作为一个复杂的体系，还要把人和环境作为一个复杂体系来考虑。

说到这里，大家也会感到系统的概念并不神秘，这是我们自有生产活动以来，已经干了几千年的事。在人类历史上，凡人们成功地从事比较复杂的工程建设时，就已不自觉地运用了系统工程方法，而且这里面也自然孕育着理论。公元前 250 年，李冰父子带领四川劳动人民修筑的都江堰，由“鱼嘴”岷江分水工程、“飞沙堰”分洪排沙工程、“宝瓶口”引水工程这三项工程巧妙结合而成，即使按照今天系统的观点，这也是一项杰出的大型工程建设。当然，人类的历史是一个由必然王国向自由王国不断发展的历史，社会劳动规模的日益扩大，使人们日渐自觉地认识到了系统工程方法的必要性和重要性，要求我们对统筹兼顾、全面规划、局部服从全局等等原则从朴素的自发的应用提高到科学的自觉的应用，把它们从日常的经验提高到反映组织管理工作客观规律的科学理论。所谓科学理论就是要把规律用数学的形式表达出来，最后要能上电子计算机去算。这科学理论是系统工程的基础，系统工程则是这门科学理论的具体运用。这门科学理论可以沿用已经建立的名词，还叫运筹学，但内容和范围更明确了，它是体系组织管理的实践所总结出来的，有普遍意义的科学理论；但有别于组织管理的具体科学实践——系统工程。从组织管理的实践到运筹学，再到系统工程的实践，完成了实践到理论，再用理论来指导实践的循环。打个比喻，一般常说的工程技术，其基础理论是基础科学，也就是数学、物理、化学、天文学、地学和生物学，尤其是数学、物理，那么各门系统工程的基础是运筹学，当然还有数学。这样，相当于处理物质运动的物理，运筹学也可以叫做“事理”。

当然“事理”同数学、物理都充满了辩证法的道理，都是以辩证唯物主义作指导的。这对于我们的同志来说，是比较容易懂得的，但是对于那些长时间以来受形而上学、片面性毒害的资本主义国家的工程，生产以及其他方面的人员来讲，就是最浅显的辩证法都成为从来未听说过的新鲜事，以至把统筹兼顾、协调各方面的矛盾作为好像是系统工程和其理论基础的运筹学所特有，大喊大叫，这当然是不妥当的。但是他们这些人，通过长时间的实践，终于懂得了一些朴素的辩证法，而且运用到实际工作中去了，这又是一件好事。

运筹学的具体内容包括线性规划论³，非线性规划论⁴，博弈论⁵，排队论⁶，搜索论⁷，库存论⁸，决策论⁹等等，而且还根据实际需要进一步发展。这领域还很多，例如可靠性论¹⁰。当然，作为“事理”，运筹学还是一门年轻的科学，其整个发展也只才 30 多年，比不上物理学的几百年的历史。因此运筹学还很不成熟，很不系统。上面所举的运筹学各个分支也只能看作是将“事理”这门科学的组成材料，还有大量的研究工作要做，使它更加系统、更加严密、更加完整。

系统工程的数学基础，除一般常常说到的数学基础之外，还有统计数学、概率论。控制论，包括大系统理论¹¹，也是系统工程的基础。

我们相信用以上所说的概念来建立并发展系统工程，运筹学、数学理论以及其他有关科学这个科学体系，能够解决所有组织管理的技术问题。所以我们要搞的系统工程不仅仅是“一门”组织管理的技术，而是各门组织管理的技术的总称。它现在还不完善，但可以逐步完善。

四

系统工程不仅需要科学理论工具，而且需要强有力的运算手段——电子数字计算机。

对于具有复杂关系的系统工程问题，在使用运筹学方法确定对系统的要求、系统的总指标、系统的总体方案以及系统的使用方法时，都需要用电子数字计算机。例如，为了在实际系统研制成功以前拟定与验证系统的总体方案，估计系统各组成部分之间的相互适应性，考察系统在实际的或模拟的外部因素作用下的响应，按照系统工程的方法，总是把与系统有关的数量关系归纳成为反映系统机制和性能的数学方程组，即数学模型，然后在约束条件下求解这个数学方程组，找出答案。这个过程就叫系统的数学模拟，它是用于数字计算机来实现的。

电子数字计算机还是实施系统工程计划协调的重要工具。1958 年美国在北极星导弹研制的计划管理中，首次采用了计划协调技术，把电子计算机用于计划工作，获得显著成功，加快了整个系统的研制进度。1963 年，我国在国际尖端技术科研工作中，进行了类似的试验，为在我国大型系统工程的计划工作中推广应用电子数字计算机作了开创性的尝试。

对于不太复杂的研制任务，采用计划协调技术所需要的算术运算工作量还是人工所能胜任的。但是，对于复杂的研制任务，计算工作量就成为十分突出的问题。由于分系统组成的整个系统包括成千上万项工

³线性规划 (linear programming) 经营管理工作中，往往碰到如何恰当地运转由人员、设备、材料、资金、时间等因素构成的体系，以便具有较快实现预定工作任务的问题。这一类统筹规划问题用数学语言表述出来，就是在一组约束条件下寻求一个函数 (称为目标函数) 的极值的问题。如果约束条件表示为线性等式及线性不等式，目标函数表示为线性函数时，就叫线性规划问题。线性规划就是求解这类问题的数学理论和方法。线性规划在财务计划管理、交通运输管理、工程建设、生产计划安排等方面得到应用。

⁴非线性规划 (non-linear programming) 如果在所要考虑的数学规划问题中，约束条件或目标函数不全是线性的，就叫非线性规划问题。非线性规划就是求解这类问题的数学理论和方法。工程设计、运筹学、过程控制、经济学等以及其他数学领域的许多定量问题，都可表示为非线性规划问题。

⁵博弈论 (game theory) 是一种数学方法，用来研究对抗性的竞争局势的数学模型，探索最优的对抗策略。在这种竞争局势中，参与对抗的各方都有一定的策略可供选择，并且各方具有相互矛盾的利益。若仅有两方参与，则称为二人对策；若一人之所得即为对方之所失，则称为二人零和对策。二人零和对策和线性规划有密切关系。

⁶排队论 (queuing theory) 是一种用来研究这样的公共服务系统工作过程的数学理论和方法，在这个系统中服务对象何时到达以及其占用系统的时间的长短均无从预先确定。这是一种随机聚散现象。它通过对每个个别的随机服务对象的统计研究，找出反映这些随机现象平均特性的规律，从而改进服务系统的工作能力。

⁷搜索论 (search theory) 是一种数学方法，用来研究在寻找某种对象 (如石油、矿物、潜水艇等) 的过程中，如何合理地使用搜索手段 (如用于搜索的人力、物力、资金和时间)，以便取得最好的搜索效果。

⁸库存论 (inventory theory) 经营管理工作中，为了促进系统的有效运转，往往需要对元件、器材、设备、资金以及其他物资保障条件，保持必要的储备。库存论就是研究在什么时间，以什么数量，从什么供应源来补充这些储备，使得保存库存和补充采购的总费用最少。

⁹决策论 (decision theory) 决策论是运筹学最新发展的一个重要分支，用在经营管理工作中对系统的状态信息，根据这些信息可能选取的策略以及采取这些策略对系统的状态所产生的后果进行综合研究，以便按照某种衡量准则选择一个最优策略。决策论的数学工具有动态规划，马尔科夫过程等。

¹⁰可靠性理论 (reliability theory) 在给定的时间区间和规定的运用条件下，一个装置有效地执行任务的概率，称为装置的可靠性。可靠性理论就是研究可靠性的数学方法，是应用数学的一个重要分支。如何将可靠性较低的元件组成可靠性较高的系统，是可靠性理论的重要课题之一。

¹¹大系统理论 (theory of large scale system) 现代控制理论新近发展的一个重要研究领域，研究的对象是规模庞大，结构复杂的各种工程的或非工程的大系统的自动化问题。诸如综合自动化的钢铁联合企业，全国或大区的铁路自动调度系统，区域电力网的自动调节系统，大规模情报自动检索系统，经济管理系统，环境保护系统等等，就是这样的大系统。

作任务,处理这种大规模的网络计划就需要电子数字计算机。在系统工程中的计划工作中,采用电子计算机的几点好处:一是电子计算机能形成一个高效的数据库,它可以按照计划部门和领导者的需要,把任何一项工作的历史情况和最新进展显示出来;二是通过电子计算机对经常变动的计划进展情况进行快速处理,计划管理人员能够及时掌握整个计划的全面动态,及时发现“短线”和“窝工”,采取调度措施改变这种状况;三是电子计算机能在短时间内对可能采取的几个调度措施的效果进行计算比较,帮助计划部门确定合适的调度方案。

因此我们可以说系统工程的建立是由于现代大规模工农业生产和复杂科学技术体系的需要,而系统工程实践的广泛发展,是由于电子计算机的出现。没有大型电子计算机和各种中小型电子计算机的配合,尽管有高超的运筹科学理论,系统工程还是无法发展的。这就又一次说明电子计算机的划时代意义,又一次证明电子计算机是一项毛主席所说的技术革命。随着系统工程实践规模的扩展,我们将需要运算能力更大的计算机或计算机体系。我们不会满足于运算速度为每秒 100 万次的机器,我们还要制造每秒运算 1 亿次以及 100 亿次的机器。

五

讲完了系统工程的内容和其理论基础及有关的学科,就可以来考虑培养新时期组织管理的专门人才。我们现在已经有不少高等院校开始了这方面的教学,这是很可喜的现象。我们在这里要说的是专门的高等院校,也就是怎样办组织管理方面的专门高等院校。

先从专业的设置说起。系统工程的各个分支就是各门专业,如工程系统工程专业、经济系统工程专业、行政系统工程专业、科研系统工程专业、军事系统工程专业、后勤系统工程专业、资料库系统工程专业以及质量保障系统工程专业等。这也如同一般工程技术有许多门专业一样。

为了打好专业学习的基础,学生要在进入专业学习之前先学专业基础课,如运筹学、电子计算机技术。这两大门课教起来要分几部分来上,因为内容比较多。其他专业基础课可能有控制论、政治经济学、有关高等数学、如算法论¹²等。

学生刚入大学的一年至两年自然要学基础课以及外语和政治课。基础课还是数学、物理和化学,可能内容和比重和一般工程技术的大学有所不同,要做些调整和更动。当然学生在校学习期间都要有适当的体育锻炼和生产劳动。

配合课堂上课,还要有实验室实践和结合专业的实习,包括电子计算机的使用。因为搞系统工程离不开电子计算机,不会用电子计算机的系统工程的毕业生是不可想象的。

以上说的是组织管理学院(或大学的“工科”),即系统工程课程设计的概要。为了培养更多的组织管理学院或大学的教学人员,为了培养更多组织管理科学的研究人员,这种学院或大学还要设“理科”。“理科”专业就是前面所讲“工科”专业基础课的各门科学;如可以称为“事理”的运筹学以及运筹学的几个门分支学科,以及计算数学等。这些“理科”专业的基础课和“工科”的基础课大致相同。至于“理科”各专业的专业基础课自然不同于“工科”的各专业基础课,要另行设计了。当然在这里的课程设计是一个很初步的设想,许多具体细节还要进一步研究,还有许多问题也只能在教学的实践中去解决。我们在前面讲到运筹学本身也有待于系统化,而经过整理,很可能出现一门作为运筹学基础的“事理通论”,它就应该作为一门与数、理、化并列的基础课来教了。

我们谈起了这样一种组织管理科学技术的大学,有“工”有“理”,与现行的一般工程科学技术的理工科大学平行的,另一种新的“理工科”高等院校。它的工科是培养从事应用工作的系统工程师,它的理科是培养从事基础理论研究工作的组织管理科学家。不论理科还是工科都要搞研究工作以不断提高教学质

¹²算法论(algorithm theory)一个计算过程,就是从可变的初始材料导出所求的结果的过程。在数学中通常把确定这种过程的准确指令理解为算法。算法论的中心课题之一就是“什么问题可以算出来解?”从而就所谓可计算性理论。近年来由于组合性问题逐步受到重视,许多这样的组合问题来源于运筹学,于是发现所有存在有算法的问题可分为两类:一类是目前仅仅存在这样一种算法,它的计算时间随着问题规模的增大至少呈指数关系增长,计算机工作者把这类算法称为非可行的算法;另一类是存在这样算法,它的计算时间只随问题规模的增大呈多项式关系增长,计算机工作者把这类算法称为可行算法。非常有趣的是,在上述第一类问题中,有许多问题至今只找到非可行算法,没有找到可行算法,而又未能证明不存在这种可行算法。这样就有所谓计算复杂性问题。运筹学中的最佳化问题是计算复杂性研究的一个重要对象。

量。我们的组织管理高等院校不但要吸收和培养大批高考合格的知识青年，而且要开办进修班，吸收和培养我国现有的、数量众多而又有一定经验的组织管理干部，用现代化的组织管理科学技术武装他们，更好地发挥他们的才能。吸收组织管理干部进修还可以把他们的实践经验带到院校中来，丰富教学内容和促进组织管理的科学研究。我们不能只办一所这样的高等院校，也不是办几所，而是要办几十所，以至上百所这种新型理工结合的学院和大学。因为我们知道，我们需要的组织管理科学家和系统工程师，其数量和质量都决不会少于或次于自然科学家和一般工程技术的工程师。

此外，在工科院校也应恢复以前就有的工业企业管理课，使学习各传统工科技术的学生知道一些生产组织管理的知识，便于他们将来同组织管理专业人员合作共事。同样道理，也要考虑在传统理科院校开设组织管理课，使搞自然科学研究的科技人员能更好地同搞科学研究系统工程的人员协同工作。

我们这样干是一种创新。这也使我们想起 100 多年前的事：19 世纪下半叶，当时工业生产落后的美国为了追上先进的西欧资本主义国家，创办了理工科结合的科学技术高等院校，第一所这样的大学可以说是 1861 年建立的麻省理工学院。在 20 世纪 20 年代初美国为了同一目的又创办了着重培养研究人才的加州理工学院。这些突破传统的院校为美国培养了高质量的科学技术人才，使美国科学技术在 20 世纪中叶达到了世界先进水平。今天为了适应我国实现四个现代化的需要，在我国创办理工科结合的、培养组织管理科学技术人才的新型高等院校，并在其他高等院校设置这方面的课程，那我们一定能后来居上，使我国组织管理很快地达到世界最先进的水平！

组织管理社会主义建设的技术——社会工程

钱学森 乌家培

1979 年第 1 期

加快实现四个现代化，这是一场根本改变我国经济和技术落后面貌的伟大革命。为此，我们思想上要做好准备，要扫除我们头脑中的障碍，而且要行动起来，首先要从多方面改善生产关系，改善上层建筑，使之适应生产力的发展。与此同时，我们也必须研究具体组织管理社会主义建设的科学技术，以大大提高组织管理国家建设的水平。

在 1978 年 9 月 27 日文汇报发表了《组织管理的技术——系统工程》(以下简称《系统工程》)一文后，我们认为该文所说的还是一个工厂、一个企业、一个机构、一个单位、一个科学技术工程、一所科研单位以及一个部队的事，是“小范围”、“小系统”的系统工程，而这些小系统还受国家这个大系统的制约，大系统的组织管理没搞好，只讲小系统的系统工程，也达不到真正的好、快、省。为了探讨国家范围的组织管理技术问题，我们在此文中写点初步意见，供大家讨论，以便使这个问题解决。

让我们先考虑这个问题的背景，看看有无建立国家范围组织管理技术的迫切需要和现实可能。



第一是现代科学技术的作用。我们经常说，要实现四个现代化，科学技术水平的迅速提高是关键。这是因为现代科学技术已经成为直接的生产力，它能把人的劳动生产率提高到前所未有，前所不敢设想水平。而这都是有科学依据的，不是什么幻想，因而是一定能实现的。近来我们报刊上刊登了不少国外科技人员预见今后几十年，到了 21 世纪的社会情况，都是以科学技术在今天已经做到或能够做到的为基础的，并不是以科学技术现在还不知道的东西为基础的，所以那些文章中所描述的一切，不是能不能实现的问题，而是根据社会和国家的建设目标，要不要实现的问题。如果我们制订计划要实现，并努力去做，就一定能够实现。因此，这是科学的预见，而不是胡思乱猜。

再就是这种可能的发展比之于我们今天已经做到的，在广大人民生活中已经实现的，差得远不远？如果不太远，那么所引起的社会变革也可能不太大。但我们知道不是如此。例如，世界上农业生产水平先进的美国，1976 年从事农业生产的劳动力只占总人口 1.2%，而我国将近 40%，相差 30 多倍。其他方面也有类似情况。这就是说在几十年内，科学技术可能带来的社会变革将比我国过去千百年的变化还大。毛主席讲的技术革命也就是历史上重大技术改革，在 18 世纪是蒸汽机，在 19 世纪是电力，但在 20 世纪，决不止原子能这一项。方毅副总理在全国科学大会上指出的重大新兴技术领域和带头学科是农业科学技术、能源科学技术、材料科学技术、电子计算机科学技术、激光科学技术、空间科学技术、高能物理和遗传工程。就这八项来看，除了核能技术革命以外，还有着计算机技术革命、激光技术革命、航天技术革命和遗传技术革命。面临这样多而又重大的变革，在我们社会主义国家不搞好长远规划怎么行呢？搞不好规划和计划协调对国家和人民所造成的损失将是灾难性的。

在前面说到要明确一个国家的目标。这在我们社会主义国家完全能解决的。我们的社会制度就是在广泛民主的基础上进行全国的集中统一的。不但如此，我们还有人类最先进的关于社会和国家的理论，即马克思列宁主义、毛泽东思想。这就大不同于资本主义国家。在那里，第一，不能形成统一的国家目标，最多只有资本集团策划的短暂交易；第二，由于他们不可能懂得长期人类社会发展的规律，他们对社会活动的规律只能做到表面的、唯象的分析，而无法作深入本质的分析，达到客观的正确的结论。所以资本家们只会，也只能为他们自己的明天作些打算，不愿，也不能为他们的社会和国家提出真正好的主意。只有我们才有长远规划的理论基础，才能真正搞社会和国家规模的长短规划并付诸实施。

有了长远规划的必要和理论基础,能不能真正去做呢?这个问题在《系统工程》一文已有线索可寻,答案是肯定的。我们有运筹学、控制论和电子计算机这些工具,又有各个领域系统工程的实践,就为解决更大的任务,组织管理社会主义建设,制订社会和国家规模的长短规划以及社会和国家规模的协调平衡,创造了条件。需要的只是进一步发展这些工具。

不但如此,我们的兄弟社会主义国家如罗马尼亚和南斯拉夫已经在这方面进行了一些工作,而且已经取得成效,我们可以向他们学习,吸取他们的先进经验。

再者就是,多年来资本主义国家也做了一些有关的工作,我们可以去粗取精、去伪存真,利用其一部分合乎科学的东西。例如,他们对未来学术和未来研究的工作就值得注意,其中一些素材是可用的¹。再如他们有些人对科学学进行了研究,即把现代科学技术作为一个方面的社会活动来研究,寻找它的规律,组织方法等。由于科学技术对现代社会的重要性,科学学也可为我所用。此外,一些有关研究单位,如国际应用系统分析研究所 (IIASA)²等,他们的工作也值得参考。

二

搞组织管理社会主义建设的前提是社会的目标,也就是建设社会主义的要求,这是党和国家所规定的一个历史时期的方针和任务,是由党的代表大会和全国人民代表大会及其常设机关决定的。有了目标,还得有更具体的政策、组织原则和法规。这也是由党和国家领导机构集中广大群众的意见来决定的。在这个基础上,我们来考虑组织管理社会主义建设,掌握并运用社会科学,特别是经济学的规律和自然科学技术,一是设计出一个好、快、省的全国长远规划,提供给党和国家领导审查;二是在执行中不断地根据实际情况,在不断出现的不平衡中,积极组织新的相对的平衡;三是总结实践经验,向党和国家领导提出改善生产关系和上层建筑的建设;四是根据计划执行情况和政治以及科学技术的新发展,提出调整计划的意见。这就是我们的任务。

我们可以把完成上述组织管理社会主义建设的技术叫做社会工程³。它是系统工程范畴的技术,但是范围和复杂程度是一般系统工程所没有的。这不只是大系统,而是“巨系统”,是包括整个社会的系统。

总的来说,社会工程是从系统工程发展起来的,所以在《系统工程》一文中讲的内容和工具以及理论基础也都对社会工程适用。但社会工程的对象既然是整个社会,整个国家,社会科学对社会工程就更加重要,更要依靠政治经济学,部门经济学,专门经济学和技术经济学。社会工程工作者也要很好掌握现代科学发展的规律,促其高速按需发展来创造强大的推动力。

社会工程的一个重要工具是情报,没有准确及时的情报,包括社会生产、人民生活、生产技术和科学发展等各方面,那就没有进行社会工程工作的依据。在现行统计、会计、业务核算的基础上,建立这样一个情报网和情报资料数据库,即一个自动化、计算机化的网和库,是一项工程浩大的项目,而且还要联系到国家和国际通信网的建设。

搞社会工程还需要大大发展它的工具理论,即运筹学和控制论,把它们向巨系统方向推进。巨系统的特点有两个:一是系统的组成是分层次、分区域的,即在一个小局部可以直接制约、协调;在此基础上再到几个小局部形成的上一层相互制约、协调;再在上还有更大的层次组织。这叫做多级结构。另一个特点是系统大了,作用就不可能是瞬时一次的,而要分成多阶段来考虑。因此在长远规划中只用一般规划理论就不行了。要发展动态规划。现在无论在运筹学还是在控制论这两方面的工作都很不够,还有很多研究工作需要做。当然为了社会工程的需要,也要相应地解决有关的数学理论问题。社会工程还需要运算能力很大的计算机。除了巨型计算机外,还要利用国家的电子计算网。

¹ 沈恒炎:《一门新兴的综合性学科——未来学和未来研究》,《光明日报》,1978年7月21日,22日,23日,第三版。

² International Institute for Applied Systems Analysis 是一个以美、苏为主,有捷克斯洛伐克、西德、东德、波兰、加拿大、法国、日本、保加利亚、英国、意大利、奥地利、匈牙利、瑞典、芬兰和荷兰(到1977年底的情况)参加的国家学术性研究所,研究国家、国家和地区性未来发展问题。所址在维也纳郊区 Laxenburg。在1977年有研究人员146人,其中有:系统分析员13人,工程师15人,自然科学家14人,数学家16人,计算机科学家15人,运筹学11人,经济学家31人,其他社会科学家12人,环境生态专家14人,生物医学家5人。

³ 在资本主义国家有人使用过“社会工程学”一词,想通过局部的改良来巩固资本主义制度,这同我们这里所讲的社会工程根本不一样。

三

比起旧中国,我们应该说建国以来的 29 年建设,成绩很大。但是,我们的经济还没有做到持久地高速发展。特别是由于林彪、“四人帮”的严重干扰破坏,国民经济长期停滞不前,加上我们底子差,按劳动生产率和人口平均收入计算,我国至今仍然是世界上贫穷落后的国家之一。从这样一个出发点,我们设想用大约 30 年时间,到了 21 世纪初,要建成一个什么样的,较高度现代化的社会主义强国呢?那时我国人口大约是 10 亿多,因此就业人数将从现在的近 4 亿增加到 5 亿。但是 5 亿就业人数之中的内在分配却要起一个非常大的变化。按世界先进水平来估计,将来直接从事物质生产的劳动力只会占就业人数的 1/4,即 1.25 亿。可是由于生产的高质量机械化和自动化,劳动生产率却比现在高得多。如果平均劳动生产率是每人每年 16 万元(人民币),那么工农业生产值就将是 20 万亿元;如果平均劳动生产率是每人每年 20 万元,工农业生产值就将是 25 万亿元。这比起现在是几十倍的增长。按 10 亿人口计,工农业生产值每人平均将分别达到 2 万元和 2.5 万元。我们将不再是贫穷落后的国家了。5 亿就业人数中才四分之一直接搞生产,那四分之三干什么?这可以从几个方面来看。首先要考虑在这样现代化的国家就业,没有高度的科学文化水平是不能胜任的;工人也得有大学文化水平。所以大学教育得全国普及。5 亿就业人口要求每年补充大学和其他高等院校毕业生约 1250 万人。这就要求全国要办大约 1 万所大学和高等院校,每个县至少有一所高等院校。全国大学和高等院校的教职员工将达 1 千万人以上。加上中学、小学以及幼儿园的教职员工,全部教育工作者将在 5 千万人以上。其次,我们应该看到我国在 21 世纪的社会不可能再因循千百年来一家一户的生活方式,生活也要集体化,社会化。为 10 亿人口的生活服务,管好吃、穿、住、行、路、医疗卫生以及水、电、邮递等公用事业,大概也得 1 亿人。以上三个方面合计共 2.75 亿,5 亿就业人数还余下 2.25 亿,这就是自然科学技术和社会科学研究人员以及组织管理和国家机构的人员,这三类要占去 2.25 亿中的绝大部分。余下的 2.3 千万是文化、文艺工作者。这不是一个非常大的变化吗?我国社会工程的工作者面临的长远规划任务就是以党和国家规定的方针政策为依据,设计出一个宏伟的方案,怎样发挥社会主义制度的优越性、和利用科学技术的最新成就。从目前的国家情况转化到上面大致勾画的 21 世纪初年的情景,一步一步走的方案。要做这项工作必须搞好确切的情报资料,这在前面已经讲过。在这里我们再具体化一点。要什么情报资料?主要包括各种生产组织经营的典型、生产技术的各种典型以及技术革新、技术改造的典型、群众的建议和来访来信,专业干部的建议,国内国外科学技术情报、经济情报和组织管理技术情报和国际贸易情报等等。情报资料库就要把这种复杂、浩瀚的资料组织存贮好,以便随时检索取出利用。有了情报资料还得加以分析。第一是要分析出一个我国社会主义经济的综合计算模型,也就是每一种产品,每一项活动和其他千百万产品和活动的关系,而且要定量的关系。这是为了上电子计算机运算。第二个分析是要从大量的典型和建议中得出改进我国每一项生产和其他社会活动的措施,列出清单,并明确其投资和效果,如提高劳动生产率多少,降低成本多少等等。这些都是准备工作,是社会工程的一部分,但还不是社会工程的主体部分。主体部分是把综合计算模型和改进措施结合起来,在电子计算机上算出一年一年整个社会和国家的经济和其他方面发展的情况。我们常说社会科学不同于自然科学,是不能做试验的。而在这里我们是在电子计算机上做社会主义建设的“试验”,不是真的拿社会和国家做试验,而是在计算机上模拟试验。如果我们的综合计算模型和改进措施的数据是基本准确的,那么模拟试验的结果也是可信的。因此所用的综合计算模型更为准确,我们可以用各种方法来检验它。例如可以用它来“往回算”。算前一年、前两年、前三年的情况,看与实际统计资料是否相符。既然综合计算模型包括千百万项产品和活动,这种模拟试验只是在有了运算速度和运算能力极大的电子计算机之后,才有可能;因为下一年的情况要很快(比如用几小时)就得到,才有用处。如果是算一年多或更长时间,才算出来,那这件事就失去意义。不但是第一次,我们还可以变换准备采用的改进措施,再在电子计算机第一次,看看结果比前一个方案好还是差,包括各种方案的 30 年长远规划也许算上 6 个月就都出来了,那我们可以从中选取一个或几个能使我国国民经济持久地高速度发展的最优方案,提供党和国家的最高领导抉择。自然我们分析得出的综合计算模型和改进措施的数据不可能百分之百地准确,而且事物也总是不断发展的,模型要变,数据也会变。还会有各种创新,有新产品,新设备出现。科学也会有新的发现,从而开拓前所未有的途径。这都是我们制订长远规划时未认识到的情况。这就要求我们在执行中对规划作新的调整。甚至在年

度计划的执行中，逐月逐日都会出现不平衡，要求社会工程工作者能及时采取措施，以达到新的平衡。这种调整工作也是用于计算机做的，先用电子计算机做模拟试验，得出结果，再定措施。我们说的改进措施包含生产关系的和上层建筑的改善，使之更适应于生产力和经济基础，所以用电子计算机做模拟试验，还可以导致社会工程工作者提出关于调整生产关系和上层建筑的建议。

四

因为社会工程毕竟深深依靠社会科学，社会工程专业人员（他们的组成参见注释 [2]）的培养似可放在综合性社会科学高等院校，像中国人民大学。那里可以设置一个系。此外社会工程还要吸收大量系统工程专业人员参加，他们的培养已在《系统工程》一文中讲到，不在这里重复了。当然，社会工程是综合了近 100 多年来马克思主义的社会科学发展成果，综合了近半个世纪自然科学技术发展成果，并吸取了近 20 多年电子计算机发展成果才成立的。以前，资产阶级科学家也好奇地想建立这个技术；1845 年著名物理学和数学家安培提议建立国家管理学，到 20 世纪 1954 年美国数学家维纳也福因国家规模的控制论。现在更有许多人在搞未来学术和技术研究。但如果不以科学共产主义理论和马克思列宁主义、毛泽东思想理论为基础，又能取得什么样的结果呢？让我们社会科学工作者，自然科学工作者和工程技术人员携起手来，共同努力，吸取一切可以利用的东西，勇于创造，来完成这项光荣而艰巨的任务。我们要时刻想到恩格斯所讲的一段话：千百万万者为之奋斗的理想，是建立这样一个社会：“社会生产内部的无政府状态将为有计划的自觉的组织所代替”，“人们自己的社会行动的规律，这些直到现在都如同异己的，统治着人们的自然规律一样而与人们相对立的规律，那时就将被人们熟练地运用起来，因而将服从他们的统治。人们自己的社会结合一直是作为自然界和历史强加于他们的东西而同他们相对立的，现在则变成他们自己的自由行动了。一直统治着历史的客观的异己力量，现在处于人们自己的控制之下了。只是从这时起，人们才完全自觉地自己创造自己的历史；只是从这时起，由人们使之起作用的社会原因才在主要的方面和日益增长的程度上达到他们所预期的结果。这是人类从必然王国进入自由王国的飞跃。”⁴我们搞社会工程正是向这个方向前进！

⁴ 《反杜林论》，《马克思恩格斯选集》，第 3 卷，第 323 页。

军事系统工程

钱学森 王寿云 柴本良

1979 年 8 月 9 日

现在全党工作的着重点已经转移到四个现代化上来，全党、全军和全国人民正在齐心协力把我国建设成为一个社会主义的现代化强国。恩格斯早就说过：“革命将以现代的军事手段和现代的军事学术来与现代的军事手段和现代的军事学术作战。”实现国防现代化，就要实现军事手段的现代化和军事科学的现代化。毛主席指出：“十大军事原则，是根据十年内战、抗日战争、解放战争初期的经验，在反攻时期提出来的，是马列主义普遍真理同中国革命战争实践相结合的产物。运用了十大原则，取得了解放战争、抗美援朝战争的胜利（当然还有其他原因）。十大原则目前还可以用，今后有许多地方还可以用。但马列主义不是停止的，是向前发展的，十大原则也要根据今后战争的实际情况，加以补充和发展，有的可能要修正的。”毛主席把马列主义普遍真理同中国革命战争的实际相结合而形成的中国人民解放军的军事学术思想，当然要随着军事手段的发展而发展，但它是我军军事路线和军事战略的出发点，在我军实现现代化的过程中居于主导地位。

我们在本文中要讲的，不属于这一类非常重要的问题，而是在这些根本性问题解决以后，如何更好地去贯彻执行的问题，也就是技术性问题。讲得具体点，就是利用现代科学技术的新成果来帮助搞好新武器研制、参谋业务、组织指挥、后勤业务和军事学研究的问题。所谓现代科学技术新成果特别是指运筹学的发展和电子计算机的发展。由于这两大发展带来了一大类组织管理技术的迅速成长，也就是各种系统工程¹的成立和各方面的应用²。与军事直接有关的一门系统工程是军事系统工程。

战争是由许多部分构成的不可分离的有机整体。在人类全部的社会实践活动中，没有比指导战争更强调全局观念、整体观念，更强调从全局出发、合理地使用局部力量，最终求得全局最佳效果的了。这正是系统工程的精华所在，我们沿用“工程”这个词最先出现时所具有的含义，恢复了把执行服务于军事目的的活动称为“工程”³；我们在本文中用“军事系统工程”而不用“军事运筹学”⁴来表示战争中参谋活动的职能。下面陈述的就是介绍军事系统工程在国外发展的简史和军事系统工程在各方面实际能办的事。我们想通过这一简短的介绍，引起同志们对这项新技术的重视，从而开展这方面的工作，促进我军的现代化。当然我们讲的很可能有错误，也希望同志们指正，好把问题弄清楚。

一切技术的建立和迅速发展都需要一定的历史条件，即既要有必要，又要有可能；军事系统工程这门技术也不例外，而条件都在第二次世界大战中具备了，所以这时就开始了军事系统工程的发展。我们就首先陈述在英美两国的这段历史。

第二次世界大战前夕，英国面临着如何抵御德国飞机轰炸的问题。当时，德国拥有一支强大的空军，而英国是个岛国，国内任一地点离海岸线都不超过 100 公里，这段距离德国飞机只需飞行 17 分钟。英国要在这 17 分钟内完成预警、起飞、爬高、拦击等动作，这在当时技术条件下是很难完成的。为此，英国的无线电专家沃森-瓦特⁵研制成了一种新型无线电装置，它能在很远距离探测到来袭飞机，这样，英国防

¹钱学森、许国志、王寿云：《组织管理的技术——系统工程》，《文汇报》，1978 年 9 月 27 日，第一版。

²钱学森：《科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学》，《哲学研究》1979 年第一期。这里讲了工程技术和技术科学在概念上的区别，说明选用《系统工程》这个词的理由。

³英语 engineering（工程）在 18 世纪出现的时候，专指战争兵器的制造和执行服务军事目的的工作。

⁴英语 operations research（运筹学）中的 operations，本意是战争或演习过程中部队、军舰、飞机等的动作。

⁵Robert Watson-Watt（罗伯特·沃森-瓦特）（1892—），1935 年春他在英国东海岸建立了世界第一个试验性雷达系统。

空部队就有时间来做好反空袭工作，使英国飞机能在防空圈外，甚至海上拦击敌机。这种新型无线电装置就是我们现在熟知的雷达。然而在几次防空演习中，雷达装置虽然探测到 160 公里远的飞机，但是没有一套快速传递、数据处理和信息显示的设备，所以探测到的信息无法提供指挥作战人员使用。这个问题终于使英国雷达研究人员认识到，要想成功地拦击敌机，光有探测用的雷达是不够的，还必须研制一套信息的传递、处理与显示设备，配套成龙才能发挥武器系统的威力。这种系统化的要求与概念，促使英国雷达研究单位在 1939 年建立了世界上第一个有组织地、自觉地按照系统的观点、用系统工程方法分析和研究作战使用问题的小组，当时称为作战分析小组，后称运筹学小组。这个小组由一位教授和一位海军军官领导，成员包括三名心理学家、两名应用数学学家、一名天文物理学家、一名普通物理学家、两名数学家、一名陆军军官和一名测量员。有了这个小组在系统分析工作上的贡献，英国防空预警雷达的功能才充分发挥出来。

在第二次世界大战期间，英美两国还在反潜、反空袭、商船护航、布置水雷等项军事行动中使用了系统工程的方法，并取得了良好的效果。

从 20 世纪 50 年代开始，以热核武器和洲际导弹的出现为标志的现代军事手段的发展，促进了军事学术思想和作战方法发生新的变革。60 年代初，美国新任国防部长麦克纳马拉为了改变美国在战略核武器方面落后于苏联的状态，提出著名的“麦克纳马拉战略”，对美国的战略方针、组织机构、预算规划、武器管理进行了系统的改革，并取得了成效。麦克纳马拉用来实现他的思想的一套方法就是军事系统工程。目前美军从事系统工程的专业人员已达 3000 余人，此外在私人企业中还有若干家为美军服务的系统工程公司，他们拥有专业人员约 7000 余人。西欧各国、日本和苏联也很重视和应用军事系统工程。军事系统工程方面的专业机构，已成为现代化军队不可缺少的业务部门了。

二

恩格斯关于作战方式的一个著名论断是：“一旦技术上的进步可以用于军事目的并且已经用于军事目的，它们便立刻几乎强制地，而且往往是违反指挥官的意志而引起作战方式的改变甚至变革。”从原始的部落战争出现，一直到整个中世纪，由于技术进步的缓慢，作战方式的演变也是迟缓的。资本主义的兴起加快了技术的发展，17 世纪末叶欧洲资本主义强国相继建立了新式的海军和陆军。新的武器带来了新的作战方法，而新的作战方式提出了训练军事指挥和参谋人员的需要。从 20 世纪开始，机关枪、飞机、坦克、化学和生物战剂、潜艇、无线电通信、雷达、直升机、喷气飞机、惯性导航、电子对抗、核武器、核潜艇、远程导弹、电子计算机、巡航导弹、精确制导武器、航天技术等等，一个接一个地出现在军事舞台上，一次又一次地促进了战争的战术形式甚至战略思想的演变。处在这样一种军事技术急速变革的进程中，一个突出的问题是：如何使军队在和平时期紧紧跟上这种变革的步伐，以避免在一次新的战争开始之后，由于不适应作战方式的变化而不得不付出的生命和物质损失。这是各国军队面临的课题，也是我军实现现代化建设所面临的一个研究课题。解决这一课题的途径是：模拟实际战争的实验室演习，它常常要用电子计算机。这是参谋业务的现代化。

战斗模拟，乍听似乎是一个新的概念，但是，它并不新，它是图上作业、沙盘作业、实兵演习等等自然发展的产物。1811 年，普鲁士国王腓特烈·威廉三世的文职战争顾问冯·莱斯维茨⁶以 1:2373 的比例制作了一个沙盘模型，代替战棋棋盘玩战争游戏，受到威廉三世的鼓励；又用胶泥制作了一个精巧的战场模型，鲜明地显示出地形特征，用彩色把河流、道路、村庄和树林表示出来，并用小瓷块代表军队和武器，陈列在波茨坦皇宫供作军事游戏。1816 年，老莱斯维茨的儿子把这种宫廷游戏变成一种有军事用途的东西，他把作战经验和时间概念引入这种游戏，用这些经验建立起若干规则，然后利用沙盘和地图表演出营、团一级的战斗。1824 年，德军总参谋长密福林⁷在视察了利用沙盘、地图进行的对阵表演后说过：“这不是游戏，这是名副其实的战术学校，我的责任是把它推荐给整个军队。”普鲁士在 1866 年对奥地利和 1870 年

⁶ von Reisswitz。18 世纪出现的一些秘传的战争对策游戏在 19 世纪初被拿破仑战争所中断，是 von Reisswitz 复兴了这种游戏并使它职业化。

⁷ Friedrich von Muffling（弗里德里希·冯·密福林）（1775—1851），普鲁士元帅，总参谋长（1820），柏林卫戍司令（1838），枢密院院长（1841）。

对法国的战争中，事先利用沙盘作业和图上作业进行演练，为战争的胜利作出了贡献。因此，从1872年开始的这种当时人们称之为“战戏”⁸的沙盘地图对阵，连同总参谋部组织、军事学院就成为普鲁士军队成功的重要因素。

20世纪以来，战术模拟技术有了新的发展。1914年8月，俄国西北方面军司令日林斯基⁹根据总参谋部的计划，命令第一集团军和第二集团军向东普鲁士发动进攻。第一集团军按计划于8月17日越过边界，第二集团军按计划应于8月19日越过边界。但第二集团军司令萨姆索诺夫¹⁰认为部队准备不足，请求推迟进攻日期。方面军司令部坚持原计划，拒绝了萨姆索诺夫的请求。结果，第二集团军陷入德军预设的埋伏圈，全军覆没，萨姆索诺夫自杀。事后分析，如果方面军司令部接受萨姆索诺夫的请求，推迟进攻日期，整个战役的结局可能完全不同。这一历史教训促使人们认识到，在作战计划执行之前，用模拟技术对计划进行预先检验的必要性。20世纪50年代，战术模拟技术开始采用电子计算机，从而大大提高了模拟的效率和精度。战术模拟技术主要包括以下几种形式：

（1）手工模拟：这是传统的沙盘和地图作业的延续，主要用于训练初级指挥员。

（2）计算机辅助模拟：利用计算机处理部分数据，但仍需人工参与决策。

（3）全计算机化模拟：完全由计算机执行模拟过程，可以快速、精确地把较长时间的战斗过程浓缩到较短时间模拟出来。

（4）军事演习：广义地讲，战术模拟技术还包括实兵进行的野战军事演习。

战术模拟技术，实质上提供了一个“作战实验室”，在这个实验室里，利用模拟的作战环境，可以进行策略和计划的实验，可以检验策略和计划的缺陷，可以预测策略和计划的效果，可以评估武器系统的效能，可以启发新的作战思想。战术模拟技术，把系统工程的模型、模拟和最优决策方法引入到军事领域。在漫长的军事历史中，直到19世纪末，作为军事艺术的基础的各种知识都属于经验的领域。史例、作战资料，是军事家用来加工战略战术理论的主要素材。但史料并不完全是战争真实性的完整记录，因为当事人事后的回忆不一定完全，关键的当事人可能遗漏，那些影响战争抉择过程的细节可能在记录中疏忽。而且，实战的条件是不能依研究工作的意图去改变的。要在实战条件下去检验战术的每个组成部分的完善程度，是有局限的。如同对自然界实际过程的观察资料需要以科学实验资料来补充一样，作战过程的观察资料也需要以作战实验资料来补充。在模拟的可控制的作战条件下进行作战实验，能够对有关兵力与武器装备使用之间的复杂关系获得数量上的深刻了解。作战实验，是军事科学研究方法划时代的革新。

20世纪50年代以来，美国、苏联、北大西洋公约组织和以色列，都十分重视战术模拟技术的研究和运用。以色列在历次中东战争的作战概念、战术和计划，甚至1976年7月偷袭乌干达恩德培机场夺回以色列人质的战斗计划，都事先经受过战术模拟技术的严格检验。目前，运用战术模拟技术的作战实验，还处在不断发展成熟的过程中。例如，仅用于训练指挥和参谋人员方面，美国陆军训练和条例司令部现已发展了一百个电子计算机化的战术模拟技术模型，所能模拟的战斗水平，从班、排、连、团、旅、师直至军团。这是军事系统工程的一个重要方面。

三

在我军科研装备管理工作中，存在这样的情况，有时一种新武器系统已进入研制定型阶段，可是对它的使用方式却尚未确定；有时一种新武器系统已经研制完成，却还在争论是否需要这种装备；有时一种新武器系统刚刚交付部队，就发现在战术使用和技术性能方面存在较大缺陷，不得不大大压缩装备生产数量。科研装备管理的这种落后状况，影响着我军现代化建设的步伐。如何改变这种状况，是我军实现现代化所面临的又一个研究课题。

第二次世界大战提供了这样的历史经验：通过周密的研究，可以找到现有武器系统的有效使用方式，

⁸德文原字是 kriegsspiel，字义为战争游戏，是普鲁士军队最早采用的对策模拟方法。

⁹Vladimir Alexandrovich Sukhomlinov（弗拉基米尔·亚历山德罗维奇·苏霍姆利诺夫）（1848—1926），沙俄将军，历任基辅军区司令（1904），总参谋长（1908），陆军部长（1909—1915）。

¹⁰Aleksandr Vasilyevich Samsonov（1859—1914），俄国将军，华沙军区司令（1906），第二集团军司令（1914）。

使这些武器能在战斗中最大限度地发挥潜力。例如，英国根据当时运筹学分析的结果，仅仅把飞机投放的反潜深水炸弹的爆炸水深调整到比原来设定的稍深一点，就使德国潜艇被击沉的概率增加了 400%。另一个例子是德国在第一次世界大战中使用的“福克式”战斗机。这种飞机在 1915 年 7 月首次投入使用时，由于机枪射击协调装置不完善，子弹常常击中自己飞机的螺旋桨。为了解决这一问题，德国的改进式样采用了断续齿轮，使螺旋桨的运动与机关枪的发射动作完全同步，保证子弹从桨叶之间穿过。这一改进使战斗机上专门的射手成为多余，驾驶员一个人就能完成操纵飞机、瞄准目标、击发扳机等动作。从这时起，战斗机的最有利射击方式才稳定下来，双座战斗机从空战舞台上消失，而为长、僚机配合的战术新形式所取代。

新武器系统的设计者一般是从提高或者改善现有武器系统的效率出发，凭借实战经验和自己的判断来进行设计的。因此，新武器系统在交付实战应用以前，它的效能仍然存在许多不确定性，最后的检验完全靠实战。现代武器系统越来越复杂，破坏力越来越强，投资越来越大，研制周期越来越长。在发展现代化武器装备的过程中，为了在研制阶段避免人力、物力和财力的浪费，为了在使用阶段避免因使用性能的缺陷造成不必要的牺牲和物质损失，需要制订一系列的科学方法，对新武器系统的运用必要性、技术可行性、性能指标和使用效率进行论证、评估、预测和检验。从 50 年代起，特别是 60 年代以来，军事技术先进的国家纷纷投入相当可观的研究力量来发展这方面的科学方法，并获得了很大成果。例如目前他们都在研究对军用无线电装置干扰和反干扰的电子对抗技术，这是装备设计和使用中的一个大问题。又如，由于红外和激光技术的迅速发展，即将出现“光对抗”这一重要课题。

这方面已经发展的科学方法有两大类型，一是模拟实验技术，二是理论分析方法。属于模拟技术的有：（1）在武器型号开始研制之前，利用前一节讲的战术模拟技术，建立人一武器结合的战术对阵模型，通过模拟，对拟议中的武器系统的作战能力进行测验。如果证明其效用不高，那么严重的浪费和损失就有可能在拟议阶段予以避免；（2）在武器型号研制过程中，不断用系统模拟方法分析、检验新武器系统内部技术性能，协调各分系统之间的关系和技术指标；（3）在武器系统研制出来之后，研究新武器系统使用性能的模拟训练方法（如各种飞行模拟器、坦克炮塔训练模拟器等），以加快训练进程、节约消耗和费用，制订有效的使用方法。属于理论分析方法的主要是运筹学的各种计算分析技术。系统地运用上述模拟方法和理论分析方法，就可以做到：根据国家的战略方针和战术原则，针对现有装备在未来的或现实的战争中与对方装备对抗可能出现的问题，利用科学技术的最新成就，提出发展新武器系统的建议；根据国家批准的发展新武器系统的任务，在委托的研制单位对拟议的新系统进行总体方案分析的同时，拟订出新系统的性能要求、技术规格，作为实际设计工作的依据；根据新武器系统运用的战略和战术环境，预测新武器系统对作战方式带来的影响，拟订最优的使用原则。

这就是科学地论证新武器使用方法和确定武器系统战术技术指标的技术，是军事系统工程的一个分支。

四

要进行战争和赢得战争，必须有充足的物质准备。恩格斯说过：“暴力不是单纯的意志行为”，“没有经济条件和资源，暴力就不成为力量”。自古以来，指导战争的人们都十分重视后勤保障工作。我国古代著名的兵书《孙子兵法》写道：“军无辎重则亡，无粮则亡，无委积则亡”。极为明确地说明，一支军队如果没有后勤保障与物资储备，将注定打败仗。因此，组织后勤保障也是一种参谋职能。

在古代，交战双方使用的武器装备十分简陋，各种兵器不外乎是将士随身携带的刀枪棍棒。相形之下，粮草的重要性就十分突出。“兵马未动，粮草先行”，这句话一方面说明粮草在古代战备工作中所占的重要地位，另一方面也说明了当时后勤保障工作的相对单纯性，与现代战争比较，不免有点相形见绌。例如，二次大战中英美组织实施的诺曼底登陆战役，仅准备时间即达半年，他们不仅制造和调集大量船只，筹集了几十万吨的各种作战后勤物资，还专门设计了一种“人造港口”以便在登陆场能停靠大量船舶，快速卸下各种器材。登陆后，他们还立即铺设了穿越英吉利海峡的输油管，从而在不到一个月的时间内，运送了

100 万军队, 56 万吨物资和 17 万辆汽车, 保证战役的顺利开展。二次大战期间, 美军为了制订一套严密的后勤管理制度, 集合了几百名统计学家和其他各类专家, 并雇用了大批人员, 组织了一支后勤管理队伍, 保证了当时后勤计划工作的需要。

现代的武器装备如果没有物资技术保障, 就变为废铁, 坐等挨打。同时由于现代战争的破坏性、突然性强, 各种武器、弹药的消耗量也极大。根据推算, 一个摩托化步兵师进攻, 日消耗量将达 1000 吨, 一个集团军达 8000 吨; 一个方面军一次战役, 仅油料就要消耗 30 万吨。由于武器装备机械化程度的不断提高, 物资消耗的构成也发生了变化, 比如美军在越南战争中石油产品消耗量占其物资总耗量的百分之七十。

后勤物资品种繁多, 物资消耗惊人, 这仅仅是后勤工作中的一个方面的问题, 它要求我们必须做好战时和平时的各类军用物资的生产和储备工作。但是必须看到, 光有物资准备是远远不够的, 更重要的还必须有一套科学的后勤工作的组织、计划与管理方法。由于现代化后勤工作的任务十分繁重, 完全依靠人来进行组织、计划与管理工作的, 就远不能满足要求, 必须借助电子计算机, 才能完成繁重复杂的计算工作。为了发挥计算机的作用, 除了必备的各种技术设备(自动化数据处理设备等)外, 还必须要有资料信息工作和数学计算工作这两方面的保障。

后勤系统的资料信息工作包括各种军用物资的库存、需求、消耗、运输等方面的数据及其各种的供应标准、性能规格和费用等资料, 这些资料数据还须在后勤系统各个环节和同后勤系统相关联的其他各部门之间的信息顺利地流通和交换。鉴于后勤系统中的不同的工作需要采用各种不同的信息, 因此信息的种类和结构也是复杂繁多。加之, 由于战局态势的多变, 各种信息必须经常地进行更新, 这就使得资料信息工作更为艰巨。后勤系统中巨大的信息数量、复杂的信息流程、自动的信息加工、快速的信息存取, 要求运用信息理论和反馈技术, 以满足后勤管理工作中精确计算、正确决策的需要。

要使后勤系统的组织管理工作得以顺利进行, 除了必须得到资料信息工作的保障外, 还必须进行大量的数学计算工作, 以使有关后勤工作的各项政策、计划和各种标准、规格的制订工作都能建立在一个经过精确计算、周密分析的科学基础上。例如, 在战争破坏性和突然性都很强的今天, 有关各种武器装备的库存量的确定, 就是一项极为复杂的问题。在制订库存量时, 我们既要掌握过去的历史资料, 又要估计未来战争物资消耗的情况, 并且不间断地密切注视国际形势和敌我力量的动态变化, 最后还得结合国家的经济与资源情况, 综合考虑, 统筹规划, 才能把这项工作做好。这些工作光靠人来做, 显然难以及时完成, 因此, 必须有先进的计算工具——电子计算机。

二次大战以来, 出现了专门研究库存、物资计划问题的库存论¹¹, 从而形成了新的后勤组织管理技术, 这一类技术是组织和运转现代化后勤系统的必由技术途径, 是实现现代化后勤系统的基础。如果没有这一技术, 就无法进行后勤业务的科学组织管理工作, 就无法制订各种最佳方案与计划; 即使有了巨大雄厚的物资基础, 也无法发挥出其应有的作用。由此可见现代化的后勤系统, 一方面是需要雄厚的物资基础, 先进的技术设备, 另一方面还需要有一套科学的组织管理技术, 两者缺一不可。这也是军事系统工程的一个重要方面。

五

指挥方式是随着总的作战方式的发展而演变的。公元前 8 世纪, 周宣王在遇有西戎入侵时, 即以烽火、鼓声传令诸侯出兵, 共同保卫镐京(今西安)。公元前 3 世纪, 马其顿国王亚历山大大帝亲自制订进军计划, 并在军队的头阵率众投入战斗, 通过战争征服建立了横跨欧、亚、非三洲的大帝国。17 世纪瑞典国王古斯塔夫·阿道夫征服了波罗的海诸国, 1632 年他亲自率领军队强渡德国累赫河, 站在战场附近的小山上通过传令兵指挥战斗。从 19 世纪中叶开始, 由于军队众多性和机动性的提高, 军事统帅的指挥位置逐渐从直接的战斗现场退下来, 到了陈列地图的作战室中。这正如恩格斯在 1851 年所描述的: “战略行动, ——各军队集团行动的协调——应当由一个中枢地点用电报线路来指挥”; “而不用电报, 就绝对不可能指挥他们”。在第一次世界大战中, 将帅们通常是在战线后面的大本营里分析各种来源的情报并进

¹¹inventory theory, 运筹学的一个分支, 研究如何确定最优库存量等问题。

行策略谋划；在第二次世界大战中，远离战线的大本营在一次战役实际发生之前数月时间就要做出种种决断，准备好战役计划。

新的指挥手段是指挥方式每次新的改进的前提。在恩格斯时代，铁路网使欧洲军队具有新的机动性，电报使得在欧洲战场有了采用中枢指挥方式的机会。在两次世界大战中，军队的动员规模和因飞机、军舰、摩托化而带来的机动性又提升到更高水平，无线电通信技术使大本营指挥方式进一步得到完善。20 世纪 50 年代以来，远程喷气飞机、直升机、高速舰艇赋予一支现代化军队史无前例的机动性；洲际导弹、远程喷气轰炸机、机载空地导弹和导弹核潜艇，能把几十万吨、几百万吨以至上千万吨黄色炸药当量的破坏力量在极短时间内投送到先前所梦想不到的远距离。这一切又给指挥方式的变革提出了新的要求。这种变革的新要求就是要极大地提高作战指挥的效率，使军队行动具有更大的突然性和反应速度。

恩格斯说：“正如同纺织机的生产率如果不用蒸汽力代替人力，也就是说如不创造与旧的手织机大不相同的新的生产工具，便不能增加三倍一样，在军事学术上也不能利用旧的手段去达到新的结果。只有创造新的、更有威力的手段，才能达到新的、更伟大的结果”。这次触发指挥方式新变革的正是电子计算机，电子计算机使作战指挥自动化成为可能。

在作战指挥过程中，有哪些工作是可以用电计算机来高速度完成的呢？

首先一大类可以用电计算机来完成的工作是：对所获取情报的编码、存储、传输、显示读出、复制，以及战斗文书的编写、编码、下达和译出，这属于信息系统工程或自动化信息体系的标准工作，这方面的技术是成熟的。情报材料存储在电子计算机中，并且可以随时更新。从电子计算机中调阅情报材料，可以做到如同使用记忆在人脑中的材料一样方便，军事参谋可以把智慧更集中于作战分析工作。其次，在作战分析工作中，也有一大类是可以用电计算机来高效率完成的，这就是前面第二节中讲的战术模拟技术，这里不再重复了。用现代信息和情报技术组织指挥体系，再用战术模拟技术来制订、模拟并优选作战方案，这就是现代指挥系统的实质。

现代化指挥系统，是由电子计算机、指挥运算程序、通信网络、终端和各分系统之间的接口形成的体系结构。搞好这个体系结构，是复杂的系统工程。美国建立自动化指挥、控制与通信系统的过程也足以说明问题的复杂性。他们在 1962 年即建立全球军事指挥控制通信系统，但是结构松散，部门与部门之间，各种通信方式与手段之间的“接口”问题没有解决好，实际上达不到“全球指挥”的目的。为此，美国经过 10 年的摸索过程，在 1971 年重新改组全球指挥系统，首先抓“全球指挥系统的体系结构”研究，弄清各有关单位上、下、左、右之间的各种接口关系，体

六

军事系统工程是把现代科学技术的最新成果，特别是运筹学和电子计算机，运用到军事工作中去的参谋科学技术。它用科学方法，主要是数学方法，研究军事系统的组织指挥、作战行动、武器使用、后勤保障等问题，提出最优实施方案，供军事决策机关参考。这种有组织的科学活动，产生了两个有深远意义的结果，一是使作战技术、装备运用、组织指挥和后勤保障方面的参谋技巧发展成为可以传授的科学技术，即可以系统地讲出道理的知识；另一个结果是利用这门参谋科学技术为作战技术、装备运用、组织指挥和后勤保障的参谋业务服务的研究组织的迅速发展。现代参谋科学技术和现代参谋组织，形成了军事系统工程，它当前非常庞大而又极为复杂的军事工作中是有重要的位置的，因而它也是一支现代化军队所必须掌握的。

本文是钱学森同志 1979 年 7 月 24 日在中国人民解放军总部机关领导同志学习会上的讲演稿，在写作中承中国科学院数学研究所和国防科学技术大学许国志同志大力协助，并提供了宝贵意见。