

科学家谈系统工程

中央人民广播电台科技组

科学普及出版社编辑部

编



科 学 广 播

科学家谈系统工程

中央人民广播电台科技组 编
科学普及出版社编辑部

科学普及出版社

内 容 提 要

系统工程学是要解决实际组织管理问题的新兴科学。它的研究和实践涉及到现代科学技术中广泛的领域,包括自然科学、技术科学和社会科学。为帮助广大干部和群众学习、了解这门新的科学技术,中央人民广播电台邀请了九位科学家对系统工程学及其在各个主要领域的应用,分别作了简明通俗的介绍。其中有著名科学家钱学森撰写的《什么叫系统工程》、中国科学院研究员许国志撰写的《从运筹学到系统工程》及上海交通大学教授张钟俊撰写的《系统工程的方法论》等等。本书适于广大企、事业单位的管理干部、高等院校管理系的师生及有关的科学技术人员阅读。

科 学 广 播

科学家谈系统工程

中央人民广播电台科技组
科学普及出版社编辑部 编

封面设计: 庾笑洋

*

科学普及出版社 出版 (北京白石桥紫竹院公园内)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国科学院印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 1 1/2 字数: 31 千字

1981 年 5 月第 1 版 1981 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—13,500 册 定价: 0.16 元

统一书号: 13051·1205 本社书号: 0249

前 言

系统工程,是近二十年发展起来的一门新学科。它是组织管理工作中不可缺少的一门技术。应用和掌握这项先进技术,对提高组织管理水平,提高工作效率大有裨益。系统工程的理论和应用,在国防及工业、科技的许多部门受到广泛的注意和重视。在我国,系统工程正方兴未艾,它在现代科学的组织管理方面的重大作用,以及对促进“四化”早日实现的意义,将越来越显著。

最近,中央人民广播电台《科学知识》节目连续播出了一组普及系统工程知识的节目,我国许多知名科学家为此撰写有关文章。为便于更多读者学习系统工程知识,中央人民广播电台科技组和科学普及出版社编辑部将这些广播稿汇编成书,以飨读者。

43/170

目 录

一、什么叫系统工程·····	钱学森 (1)
二、从运筹学到系统工程·····	许国志 (5)
三、系统工程的方法论·····	张钟俊 (9)
四、控制论的一个分支——大系统理论·····	陈 挺 (14)
五、领导工作科学化和自动化的参谋部—— 事物处理系统工程·····	宋 健 (19)
六、谈谈系统生态学·····	马世骏 (24)
七、从自动控制系统到复杂系统·····	关肇直 (29)
八、系统学在国民经济和企业管理中的应用·····	薛祿鼎 (34)
九、谈谈搜索论——组织搜索作业的科学方法····· ·····	凌如辅 (38)

一、什么叫系统工程

钱 学 森

1978年9月27日上海《文汇报》刊登了一篇文章，题目是《组织管理的技术——系统工程》。是由许国志、王寿云同志和我合写的。有人问我们：为什么叫技术、叫工程，而不说组织管理的科学呢？这的确是个重要的问题，因为它涉及到这门学问的基本精神。我们说：系统工程是要解决具体实际问题的，是讲实干的，是要改造客观世界的，而不是只研究研究学问。从科学的广泛涵义来说，当然也可以叫做组织管理的科学，叫系统工程更为确切些。

系统工程是组织管理的技术，那好，有的同志会问：组织管理这件事不就是行政事务那一套，我们国家的各级干部不是天天在做吗，怎么又提出什么新词儿，叫系统工程呢？对！从提这个问题的角度来说，系统工程的道理并不新奇，就是我们日常办事的道理。比如：制造一件产品，生产组织总要服从生产工序，一道道工序安排，前道工序没有完，不能开始下一道工序，而且一道工序需要一定时间去完成。车间生产调度多少年来就是这样安排生产的。但如果我们问生产调度员同志：“你有没有把握说你干的已经发挥了车间的最大潜力，达到了最高效率呢？”那恐怕未必有把握吧！而系统工程就可以做到这一点，告诉我们如何安排车间生产以达到最大效益。因此，系统工程的任务是改进我们的组织管理，提高效率，也就是提高组织管理的水平。这么一说，系统工程的重要性就

非常明显了,搞系统工程的意义也就非常突出了,因为组织管理水平的提高是我国实现四个现代化中的一件头等大事。

系统工程采取了什么好方法来达到这个目的呢?是科学的方法、是定量计算的方法,所以是数学的方法;也就是100—200年来,近代科学和现代科学技术的各个领域都在采取的途径,不能满足于定性,要定量。在1978年的那篇文章中,我们三个人把系统工程中用的数学方法概括为一门学科,叫运筹学,“运筹帷幄之中,决胜千里之外”嘛!我们的这个作法是把系统工程所用的方法作为一门比工程技术更理论些的技术科学,就是运筹学。这就如水利工程、造船工程等工程技术都要使用流体力学这门技术科学一样。我们这样作是为了澄清到现在国外还存在的混乱,这由于历史原因所出现的名词的混乱。在那儿,系统工程、运筹学、系统论、系统分析、经营科学、管理科学等名词都混在一起使用,没有建立起科学体系从理论到应用的明确结构。我们认为这是不能令人满意的。

运筹学的具体内容这里就不详细叙述了。

但是要说明,系统工程的理论基础不能只是一门运筹学,还有其他。那就要看系统工程的具体对象了。例如前面所举的车间生产调度的问题,就是工业系统工程,那当然要懂得生产力组织的经济学,就是人和生产设备的经济学,这门学问于光远同志把它叫生产力经济学。如果系统工程的工作对象是设计和建立一个水利工程或大型兵器装备,那就需要有关的工程技术理论;这门系统工程也就可以叫做工程系统工程。如果系统工程的工作对象是一个公社、一个县的农业生产,那就要知道农业生产,包括农、林、牧、副、渔,以及工业、商业综合经营的学问,也就是“农事学”;那这门系统工程就叫做农业系统工程。如果系统工程的工作对象是整个国家的社会主义经济建设,制订长期计划,那就要知道经济科学的许多知识;

这门系统工程可以称为社会系统工程或简称为社会工程。再比如系统工程的工作对象是情报、资料数据库等的所谓信息网,那自然要知道信息技术,这门系统工程就可以叫做信息系统工程。我们还可以举更多的例子,但从这儿看出一个道理:系统工程是分门别类的,上面就讲了工业系统工程、工程系统工程、农业系统工程、社会工程和信息系统工程这五门系统工程了,还有更多的应用和更多的系统工程专业。各门系统工程专业都有它各自的理论或技术基础;但另一方面,不论那一门系统工程又共同地以运筹学为他们的数学方法,说明他们处理问题的基本精神是一致的,又有他们的共性。

因为系统工程是要解决实际组织管理问题的,有了理论和数学方法还不够,还要具体计算,得出结果,作为实施的设计方案、蓝图。但这里遇到一个难题,计算工作量太大,如果用人手算,结果还没算出来,事情已经过去了。比如一个国家年度经济计划,一算8个月,那还有什么用处?幸而正在系统工程兴起的同时,现代科学技术又创造了电子计算机,大大提高了计算速度。每秒运算次数在早年电子管式的电子计算机就达到1万次,后来的晶体管式的达到10万次,现在用了集成电路或大规模集成电路,以至超大规模集成电路,每秒钟能运算的次数达到百万次、千万次,以至一亿次。人算8个月,电子计算机用不了半小时就算好了,这才使得系统工程的实践能成功。因此我们可以说系统工程离不开电子计算机,或者说是电子计算技术的出现,才有可能把组织管理的水平提高到今天的先进高度。

由于系统工程对提高我国各个方面的组织管理水平密切相关,系统工程受到有关领导部门的重视,积极扶持。教育部对在高等院校中开展系统工程教育抓得很紧,已经在清华大学、天津大学、大连工学院、西安交通大学、华中工学院设置了

系统工程研究所、研究室、中国科学院成立了系统科学研究所作为系统工程的专门研究机构。最近中国科学技术协会已经批准成立我国第一个专业群众学术团体：中国系统工程学会，即将开展全国性的系统工程学术活动，并办会刊。以上情况说明系统工程已在我国生根了，我们可以预期它的茁壮成长。

系统工程的研究和实践涉及到现代科学技术中广泛的领域，包括自然科学、技术科学，也包括社会科学。因此开展系统工程工作需要动员各方面的专家，需要我国的自然科学家和社会科学家携起手来，共同推动这一类新技术的发展，大力提高各项事业的组织管理水平，为实现我国社会主义的四个现代化做出应有的贡献。

二、从运筹学到系统工程

中国科学院系统科学研究所副所长、研究员

许 国 志

什么是运筹学和系统工程的关系呢！运筹学和系统工程都是千百年来劳动人民经验的点滴积累，所以它们的基本思想由来已久。我只是谈一些近代的发展。近代运筹学发展于本世纪三十年代末期，而系统工程这一名词的出现大约晚 15 年左右。早期的运筹学是由当时的雷达空防系统的研制工作所推动的。最初研制工作的主要力量只是放在信号的接收上，可是在第一次演习以后，就认识到，如果没有很好的传输、显示等等手段，那末作为一个空防系统来说，还是无效的。这样，系统这一概念的重要性就得到了强调。其实这就是我们经常所说的配套成龙。荷花虽好，还要靠绿叶扶持。在第二次演习以后，又没有达到预期的效果；这时提出了另一个问题，就是对系统的如何有效使用，应该进行研究。当时得出了一条极为朴素的结论，这就是对一个复杂的系统说，从研制一开始，就应该注意到将来的实际使用环境和操作人员的技术水平等等。在早期的运筹学中，还发现了这样一个问题，就是对一个研制项目或者一项生产任务，从一开始就应该明确它的目的性。这也没有什么神秘，然而在工作中往往没有得到应有的重视。在运筹学的发展史上有着这样一个典型事例。那就是商船空防系统的功能问题。最初由于商船遭受到敌人飞机的袭击，于是有人建议，在商船上部署一些高射炮。当时

对于这样一个空防系统应具有的功能，并没有认真讨论。不久，统计数字表明，击落的敌机很少，于是引起了争论，有人认为浪费了当时供不应求的高射炮。后来运筹学工作者提出这样一个问题，就是这个系统的特定功能是杀伤敌人，还是保存自己。如果是杀伤敌人，这个系统确实是无效的。如果是保存自己，又会是怎样呢？结果统计数字表明，由于高射炮火影响了飞机的投弹瞄准，所以部署高射炮以后，商船的被击沉率显著下降，正应该是原来预期的主要功能。一场争论就平息了。我还可以举第二个例子，有一次我参观一个轧钢车间，有一位老师傅指着一堆料头对我说，这是多么浪费！原来这是在轧制定尺钢材时所切下来的料头。在轧制定尺钢材时，为了不出现短尺，往往将坯料增大，从而要切除较长的料头。这项工作的目的，当然是追求较高的成材率，然而不出短尺，并不意味着成材率高。在轧制一批定尺钢材时，如果坯料比较小，也可能出现一、两根短尺钢材。但总的说来，切除的料头却少了，这样，每吨钢锭的成材量却提高了，这才是真正的目的。运筹学强调定量地研究问题，在明确了目的以后，还要求有一个衡量目的达到程度的指标，这叫做效果衡量指标。一般说来，有了这个指标，就可以选择最优的方案。后来运筹学转而研究一些事物的基本规律，物有常规，事有定理，这些基本规律可以称为事理。而上面所说的早期运筹学的一些基本思想，就发展为系统工程。

系统工程是一大类工程技术的总称，今天我不想分门别类地讲各门系统工程，而只想讲一讲运筹学和一些系统工程之间的一脉相承之处。随着科学技术的发展，出现了一些庞大的研制项目或者工程项目。系统工程这一名词是从一项庞大的电话通讯网络的规划和修建产生的。后来在一些空间计划中，系统工程发挥了重大的作用。这些庞大的项目往往由

许多部分组成；各部分之间存在着相互依赖和相互作用。运筹学早期所提出来的系统的整体概念就显得更加重要。这就加深我们对系统的认识。而特定功能或任务目标的明确，效果衡量指标的选择都成为系统工程中必不可少的概念。同时对一些存在已久的事物，也可以提高认识。例如钢铁联合企业是一个历史悠久的企业，今天可以把它看作一个系统。系统既然是庞大和复杂的，为了规划或者分析，都需要把它分解成几个分系统，分系统之间既有关联又存在着矛盾。为了使系统充分发挥它们的功能，就需要进行协调和选择。这样就又引进了系统的分解，分系统之间的关联与接口，分系统之间的协调，以及矛盾因素之间的抉择这样一些概念，当然还有系统的结构。经验告诉我们，钢铁联合企业作为一个系统来看应该是一个分层系统，一般分为三层。公司是第一层、职能科、室是第二层、各分厂、车间等是第三层，每层之间，又分成若干分系统。各分系统之间的关联凭借着物流和事流来体现。物流就是在各分系统之间流通的电、气、原料、半成品、成品等。而事流主要是流通于各分系统之间的信息。这两种流受着技术条件和经济规律的制约，而协调主要应该通过这些条件和规律来进行。在某种程度上，经济规律远较技术条件为复杂，例如在一个大的联合企业中，各分厂之间的产品价格形成。合理的技术改革，必然会使最终产品价格物美价廉，然而采取新的技术措施必然会增加某一环节也就是某一分系统的成本，往往厂内价格不作相应调整，这种措施就难于实现。计划协调技术中经常遇到的时间与成本的选择就属于这个类型。

系统既然是庞大而复杂的，因而就需要靠成千上万的人大力协同工作。这就面临着一个基本问题，就是如何把较笼统的初始任务化为每个人的具体工作。在看成为三层系统的钢铁联合企业中，第一层的输入是上级下达的任务以及兄弟单

位的协作任务,这一层分系统的职能是将所有任务归总,然后在交货期限允许范围之内,安排任务,以期收效最大。第二层分系统的职能是将任务分配给各分厂或车间,这一层应有权检查生产和质量指标,应有权重新制订整个车间的计划。第三层的职能是控制实际生产过程。到了这一层,初始的任务就最终化为每个人的具体工作。如果要把整个这一过程中每一项工作做好,就需要有一些科学方法。前面提到过的定尺钢材的合理投料就是一例。今天运筹学和系统工程都为这些问题提供了一些科学方法。我们相信它将能为我国的四个现代化做出贡献。

三、系统工程的方法论

上海交通大学教授 张钟俊

系统工程是近三十年来迅速发展起来的一门新技术。它的主导思想是,从全局的观点出发,综合应用现代科学技术和先进的工具手段,使各种规模巨大,结构复杂、涉及因素很多的大系统能够得到最优的规划及设计,最好地实施和最佳地运行。显然,要达到这一目的,就必须有一套合理而有效的方法。

究竟采用一套什么样的方法呢?让我们从“瞎子摸象”的故事谈起吧。相传某个村子里住着三个瞎子。有一天,出了件新鲜事,从外地来了一头大象,村民们谁也没见过这种庞然大物。三个瞎子也争先恐后地跑去,想了解一下大象是什么样子的。第一个瞎子摸到大象的一条腿,于是,他从上到下摸了一遍,就说大象的样子象根大柱子;第二个瞎子摸到大象的肚子,他从左到右摸了一遍,就说大象的样子象一堵墙;第三个瞎子摸到大象的鼻子,就说大象的样子象条蟒蛇。结果,这三个瞎子谁也没有说对。但是,如果他们摸的不是大象,而是小猫、小狗一类的小动物,那么,他们肯定不会造成太大的错误,闹出这样的笑话来的。这是因为被研究的对象“很大”,人的直觉感官又有限,方法也不对头,调查研究不周到,就匆匆忙忙地去解决问题,拿着局部当整体了。如果把三个瞎子的感觉综合在一起,从上下、左右、前后三个方向上,也就是立体的来描述大象,就会得出这样的结果:大象的块头比较大,肚子

象一堵短墙,有四条大柱子一样的腿,还有一条象蟒蛇一样的大鼻子。这样的描述,尽管没有勾画出它的尾巴、耳朵一类的细节,也能够比较完整而又真实地反映出大象的形状来了。

系统工程的方法论也类似瞎子摸象,不能仅仅从某一个方向来进行,而是要从三个方向上来进行。但是,它又和瞎子摸象的三个方向不同。这种方法是,把系统工程活动从时间上分成前后衔接的几个阶段,又从逻辑上把每个阶段分成几个环环紧扣的步骤,同时也要考虑到完成上面所说的这些阶段和步骤所需要的各种专业知识和技术素养,这主要是靠广泛地吸引各类专家和人才参加系统工程活动来实现,或者是把他们的知识和意见存储到电子计算机里,随时备查。系统工程的这种方法论,已经广泛地得到了应用,它为解决目前世界上许多复杂的大规模系统提供了一个统一的方法。

对于任何一项工程都大体分为规划、研制、生产、安装、运行和更新等几个阶段。对于每个阶段的具体实施步骤,根据系统工程方法论的要求,基本上要按照统一规划,建立模型和仿真,决策和实施计划等等几个步骤去进行。

做“统一规划”,首先要进行“摆明问题”的工作,就是我们经常说的做“详尽地占有材料”的工作;通过调查研究,尽量全面地收集有关要解决问题的历史、现状及发展趋势的资料和数据。接着,按照任务的要求提出要达到的目标,这包括各种技术指标、政治目的、经济效果等等,并且进一步提出衡量是否达到这些目标的标准。由于系统比较大,要达到的目标也就多,而且相互影响;因而,必须根据它们之间的关系画成象一棵大树一样的图,就是我们所说的树状图,(即所谓“目的树”),按照主次关系把一些目标画在树干部位,其他目标分别画在不同的枝节部位。有了这种“目的树”,对分析处理问题就非常方便了。统一规划中的最后一项工作,是进行“系统综合”和“系

统分析”，也就是全面地收集达到上述目标所能采用的各种方案，比如技术方案，政策与控制手段等，并且提出每一种方案实施时所需的手段和衡量这一方案是否成功的度量标准。然后，对收集到的这些方案“梳辫子”，分析比较它们的优缺点及所需要成本等等，确定它们的优劣顺序，最后把最好的方案留下来。

完成统一规划后，紧接着就要进行建立模型与仿真的工作。所谓建立模型，就是根据统一规划中的结果，把整个系统的信息流程和物质流程的复杂关系定量地或者定性地表达出来。对于物理系统和工程系统常常可以用一套数学表达式象微分方程，代数方程、矩阵方程等来描述，进行精确的定量分析。对于政治、军事和社会系统就不可能用这样准确的数学表达式描述，往往需要借助于语言和图解，画成网络流程图来描述，从而进行精细的定性分析和粗略的定量估计。建立模型过程中最主要的工作是对模型的结构进行参数估计，这需要应用统计学和概率论等知识来进行这项工作。在模型做好以后，为了确保系统能够按照预定的方式工作，检查建立模型时考虑的因素是否充分，参数估计得是否恰当，根据模型所提出的政策是否最优，就必须用模型取代实际系统进行仿真试验。特别是当直接用实际系统进行试验是不可能的或是十分有害的时候，比如宇航系统、核反应系统和社会经济系统等，不可用实物进行试验，因此用模型仿真来进行研究就更显得重要了。

下面，我们以一个简单的生产过程为例，来说明如何建立模型和进行仿真试验。某工厂决定生产某一种零件，需要了解该零件的生产周期，成品数和废品率等。我们可以根据该零件的技术指标，设计出工艺流程，再根据过去的生产经验，画出零件加工过程的网络图，用积累的统计数据估计出它的参数。然后，排成数字计算机程序做仿真试验。在计算机上

试验一千次就相当于一千个零件通过这一生产过程，由此结果就可以很方便地计算出生产过程中这种零件的成品数，废品率和制造周期等。如果对得到的结果不满意，还可以进一步修改模型，这里主要是改进工艺流程，再重新进行试验，直到满意为止。从而避免了进行实际生产试验所可能造成的人力、物力和时间上的浪费。

完成建立模型和仿真步骤之后，我们就可进行系统工程活动中最重要的步骤，就是做“决策”和“实施计划”的工作：这是把上面所说的得到的结果，进行广泛地分析比较，选择最佳的模型来制定我们需要的技术方案或者政策；最后做出人力、物力等等的调配计划，任务计划和管理计划等。

通过上面的介绍，大家可以看到，系统工程方法论，并不是什么全新的发明创造，也不是什么高不可攀的尖端技术。“调查研究”、“全局观点”、“分析矛盾的全过程”、“抓主要矛盾”等等就是系统工程所采用的思想方法。比如西安市筹建了一个焦化厂，预算可以提供五万立方煤气，这些煤气做什么用好呢？开始提出了两个方案：一是要用在冶炼上，理由是工业建设必须大量的钢材；二是要生产更多的粮食，把煤气用在化肥厂，多产氮肥支援农业。两种方案相持不下。这时，公用事业局总工程师，七十八岁的孙季华同志，通过一番深入的调查研究，应用系统工程统一规划法的思想，摆明问题，明确目标，运用价值规律反复进行了系统的综合和分析。他指出，如果用在钢上，每年可以节省煤炭一万吨；若用在化肥厂，每年可节省煤炭一万五千吨。但是，如果作为民用，则可供应三万户，可节约煤炭三万吨；这三万吨煤拿给工业用，可以同时满足钢厂和化肥厂的需求。从经济效益来看，当然民用的好处最大；而且还可以在人口稠密的大都市消除三万户人家的灰尘飞扬和空气污染；再者，这三万户的工人和科技人员大大