

系统工程学的 现状与展望

〔日〕科学技术厅编

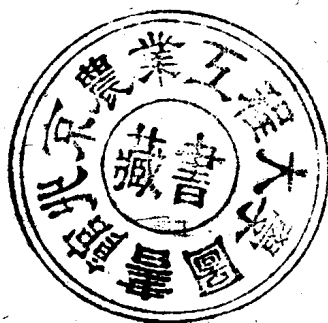


中国社会科学出版社

现代管理科学丛书

系统工程学的 现状与展望

〔日〕科学技术厅编
郑春瑞译 朱良漪校



中国社会科学出版社

システム工学の現状と展望

大藏省印刷局

（根据日本大藏省印刷局1976年8月第一版译出）

2R46/19

现代管理科学丛书
系统工程学的现状与展望

中国社会科学出版社出版

新华书店北京发行所发行

太阳宫印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 9.25印张 1插页 195千字

1983年7月第1版 1986年1月第2次印刷

印数 15,001—22,500册

统一书号：4190·128 定价：1.55元

《现代管理科学丛书》出版说明

管理的知识是随着人类生产的发展而发展起来的。但是，管理作为一门科学，却是在大工业出现以后产生的。

工业革命把手工业生产转变为机器生产，扩大了生产的规模，推动了生产过程内部分工的发展，对管理提出了新的要求。早在十八世纪七十年代和十九世纪初，古典经济学的始祖亚当·斯密和以后的巴贝奇，首先讨论了使用机器和分工所产生的问题。到了本世纪初，由于大机器工业生产获得了普遍的发展，泰罗才真正开始把管理变成一门科学。但是，被泰罗称之为“科学管理”的范围还是很狭窄的。他只限于对生产过程进行科学管理，对劳动动作作出测定，求出生产动作的模式化和生产工具的标准化的，从而为大幅度提高工效创造条件。

第二次世界大战以后，科学技术的迅速发展和大规模应用于生产，急速地改变了现代生产力的面貌，同时也迅速地推动了管理科学的发展。管理科学在以下两个方面得到了进展。

首先是人的行为开始成为管理工作者的研究对象。行为学派的理论得到了十分广泛的应用，如何发挥人的积极作用成为资本主义管理在理论和实践上所追求的重要目标。工人参加管理和决策，以至参加利润分红也已成为七十年代资本主义管理的时尚。

其次，为了适应复杂的生产技术和日益发展大规模的经营，运筹学、控制论、系统科学、信息科学和电子计算机技术、连同组织的科学化等新学科、新技术，都得到了广泛的研究和应用。

生产力的巨大发展使得生产社会化的程度达到了前所未有的高度，马克思所说的“生产、分配、交换、消费”，“构成一个总体的各个环节”的情况，从来没有像今天这样突出。生产的高度社会化已成为制约资本主义生产的背后起作用的力量，它要求把整个社会生产组织起来，成为相互联系的整体，否则，生产就不能进行。为了适应这种需要，各种各样的组织生产的形式就成为必需的了。从此，大规模生产的大公司以及专业化和协作等等组织形式出现了。不但由企业中发展起来各种预测和决策方法，使生产计划化，使企业的生产尽可能反映社会再生产的要求，而且从全社会来说，也在生产无政府状态的一旁，逐渐出现了某种程度的计划性。资本主义国家的政府越来越多地采取各种经济政策和经济手段对企业的经营实行有计划的干预。运用系统理论的方法来研究管理问题也已成为七十年代西方管理科学中占统治地位的思潮。

在资本主义制度下，管理科学的发展是以取得利润作为动力的，因而必然要带来资本主义剥削制度所特有的糟粕。但是，为了取得最大限度的利润，资产阶级必然要使管理适应于生产力的发展，这就使得管理科学不但吸收了社会科学的许多成果，而且吸收了自然科学的许多成果，成了一门综合性的学科，它是人类社会的共同财富，我们应当有批判地加以继承。

社会主义是一种比资本主义制度优越得多的社会制度，它实现了生产资料的公有制，消灭了剥削。这就有可能使劳动人民成为国家和企业的主人，激发出劳动人民办好自己国家的经济事业和企业的无比热情。这是我们能够建设起比资本主义更加优越的管理制度的社会基础。但是，社会主义制度，包括社会主义的人民民主制度、社会主义的法制在内，和其它一切新生事物一样，有一个产生和发展的过程，而且只能是随着封建残余和资本主义的剥削影响的消灭而逐步实现的。坚持马克思列宁主义、毛泽东思想的民主原则，批判地吸取外国管理科学的长处，建立起具有我国自己的特点的社会主义民主和科学的现代管理制度，是我国经济工作者和管理工作者的任务。

《现代管理科学丛书》的出版，就是为实现上述任务服务的。我们将有计划地组织翻译国外有关管理的重要著作，包括它的主要学派和各种专著。同时还准备出版国内管理研究工作者和实际工作者撰著的有价值的著作，以便群策群力，把这门科学推向前进。

译 者 的 话

系统工程学是二十世纪六十年代出现的一门新兴科学，也是一种行之有效的组织管理方法，特别是美国在阿波罗登月计划中，成功地运用了这一方法。许多工业先进国家，都争先恐后地培养了大量的系统工程方面的人才，组织了专门机构，在政府机关、科学团体和国民经济各个领域进行了广泛地应用和推行，并取得了积极的成果。在设计自动化、复杂的科学实验自动化、生产控制自动化、工业部门和经济过程的自动化、以及行政管理工作的自动化等方面，成果尤为显著。

日本政府通产省的科学技术厅鉴于此种情况，于一九七四年委托社团法人科学技术与经济研究会，对这一新的科学成就进行了调查，并于一九七六年将调查结果撰成此书。书中根据日、美、英等国的经验，主要介绍了系统设计、系统管理和系统工程工具等方面的内容，从而表明了系统工程在当时的发 展概貌，同时也可使读者对其概念有一个一般性的了解，从中学会一些科学方法，应用到实践中去解决问题。

我国政府对国外的这一科学发展也非常重视，列为国家正式科学项目，也组织了电视广播讲座，召开了专业会议，交流经验，进行推广。

系统工程学是一门新兴科学，因而本书所包括的内容不可能很全面，有些观点也许不完全正确，尚希热心于系统工程学的专家、学者，和从事这方面工作的同志，在适当的时机予以补充、修改，并对译文不妥之处提出批评指正。

序 言

近年来,随着科学技术的飞速发展,科技情报(信息)的种类和数量都在显著地增加。当前的状况是,越来越难以全面地了解和掌握科学技术各个领域的发展动向了。

为此,科学技术厅在综合的科学技术领域里,对其发展过程、现状、问题和将来的展望等,进行了全面的调查,为整理出有利于行政、经营和科研管理等方面有用的资料,促进广泛交流科学技术情报,而从1972年起,开展了综合评论调查活动。

科学技术厅于1974年就系统工程学、海洋科学技术、材料科学、电子通讯和仿生学等五个学科编写了综合评论杂志。关于系统工程学已委托给社团法人科学技术和经济会进行编辑工作,目前即将出版。

由于对该课题还是第一次尝试,因此在这个评论活动中尚不尽完善,我们将在今后再版时不断地加以修改。

读者得到这本书以后,希望能了解它的内容,结合今后发行的其它综合评论杂志,充分有效地发挥其作用。同时,希望读者毫无保留地对本书提出意见。

最后,对协助本评论活动的各位表示感谢。

科学技术厅振兴局长 福永 博

1976年8月

目 录

第一章 总论	1
第一节 系统工程学的重要性	1
第二节 系统工程学的概念	2
第三节 系统工程学的现状与展望	5
第四节 本书的目的	7
第二章 分论	8
第一节 系统设计	8
一、系统工程学的对象	8
(一) 系统工程学的目的	10
(二) 系统工程学的对象系统	11
二、系统设计	24
(一) 系统设计的顺序	24
(二) 计算机在系统设计中的应用	26
三、系统机能	39
(一) 系统机能的原则	39
(二) 系统机能和人的关系	44
(三) 系统机能的构成	50
四、系统特性的评价	66
(一) 系统的有效性	66
(二) 个别评价	71
(三) 计算机在系统评价中的应用	77
第二节 系统管理	81

一、系统管理的重要性	81
二、系统中时间、成本和可靠性的概念	81
(一)成本	82
(二)时间	85
(三)可靠性	86
三、系统开发的阶段	88
四、计划管理	93
(一)计划管理的必要性	93
(二)计划和项目	95
(三)计划管理的体系	95
(四)计划管理的问题	97
(五)计划	99
(六)WBS(作业分解结构)和组织	100
(七)WBS和网络	102
(八)调度计划控制	107
(九)成本管理和预算管理	109
(十)结构管理	111
五、计划评审技术和关键路线法	114
(一)PERT(计划评审技术)	114
(二)PERT/人力	148
(三)关键路线法 CPM	151
(四)PERT/成本	153
(五)PERT和计算机	155
第三节 系统工程工具	157
一、系统分析法	157
(一)问题和方法	158
(二)线性规划	161
(三)博弈论	177

(四) 动态规划	184
(五) 网络和流的理论	195
二、概率和可靠性	209
(一) 简单决定问题	209
(二) 概率	216
(三) 随机变量和各种分布	224
(四) 简单的随机过程	235
(五) 可靠性(概率模型的应用之一)	247
(六) 排队(概率模型的应用之二)	256
三、模拟	268
(一) 模拟的概念	268
(二) 模拟的优点和实施顺序	269
(三) 例题	271
【术语解释】	280

第一章 总 论

第一节 系统工程学的重要性

当人类的各種活动日益多样化,而且达到高级程度的时候,在活动中所进行的决策,一方面反映出人类社会的复杂程度;另一方面必须认识到这是由于进行高度的技术革新而产生了許多先进技术,并且有效地利用该机器于实际的结果。

特别是最近的控制机器、计算机器和通讯机器等技术的迅速发展,显示出对人、机的相互作用有加以计划和管理之必要,其中包括大量的机器、设备及其计划管理,和这些设备之间的相关联的复杂的多方面的计划与管理,以及和操纵这些机器来完成人类社会崇高理想的人之间的相互作用。

这样,各种机器随着技术革新的迅速进展,也越来越提高了其性能和精度,另一方面,这些机器的相互关系也越来越复杂化。它们不仅要完成本身应该担负的任务,而且要摆正与其它机器的关系,否则就不能达到整体的目的。

当然,一方面要发挥个体的作用,同时,还要摆正它在整体中的位置。这一点,在人类活动的各个方面都是一直被强调的,例如在工程设计和运用于社会组织方面就是如此。现在之所以特别强调系统工程学,是因为人们看到在陆地交

通管制系统、航空管制系统以及其它方面如宇宙飞船系统或导弹那样高度发达的武器系统的开发和应用上，有下列几个特征：

(1)同过去的系统相比，与这些系统相关联的现象复杂得多了，而且使用的各种机器的可靠性和精度都远远高于以往的水平，同时这些机器的数量也在大大增加。

(2)这样庞大的系统，还要进一步分成若干子系统，而且这些子系统在实现其各自的独特机能的同时，还要同其它子系统发生适当的相互作用，譬如在极短的时间里，如果不能确保各系统间作正确的反应，就不能达到整个系统的目的。

(3)无论是使这种系统开动的输入信息，还是以后使系统继续运动的输入信息，不管其信息量如何庞大，都必须迅速地进行处理。

(4)对于在整个系统的机器之间或子系统之间发挥作用而成为整个系统的一个组成部分的人来说，要求他能够适应机器的精度、可靠性以及子系统的复杂性，作出迅速而正确的反应。

这些特征的任何一点，与迄今为止的工程学设计或在社会的运用中遇到的问题相比，都提出了非常困难的问题。因此，当前要求重新研究系统工程学的概念和方法论。

第二节 系统工程学的概念

系统工程学大致可分为如下五个子过程。

(1)问题的设定

这是一种组织过程，是有关人员在以下几个问题中达成

一致看法的过程，对社会上部分的或局部意识到的问题，经有关人员讨论，基本统一在大致相同的方向和类似的水平上，而且有关人员对判断能否解决这些问题的评价标准达成一致的意見。同时，还要对于所谓不能用机器操作的环境或给予的条件以及能够进行操作的变量之间的界限达成一致看法。换句话说，问题的设定就是对于系统的目的和为达到这种目的可以利用哪些资源的一个认识过程。

(2) 系统分析

根据设定的问题，在决定该系统中的目标时，对于价值前提（评价标准等）以及事实前提（给予的条件及变数等）有关人员的意見基本趋于一致时，就可以将这种系统中被观察到的物的现象或人的行动等之间的复杂因果关系加以结构化。这是系统分析的阶段。特别是在这个阶段，为了表现系统的情况，很有必要巧妙地运用有效的概念或语言。因此，在依靠逻辑学和数学等严密的语言的同时，还要把用于其它自然科学、社会科学理论及其应用方面的有效概念组合起来加以有效地利用。

特别重要的是，这时要能够迅速而准确地跟踪随着环境变化或方案变更而引起的效果，判断其综合效应，为此就要象有效地利用电子计算机的分时系统那样，一面使人机相互对话，一面把人的“what, if”这类的质问交给机器去执行。从某种意义上说，进行实验性思考的考察过程，今后将特别值得重视。

(3) 系统设计

对系统分析得出的结果进行求解，就是针对系统设计的目的，决定如何分配有限的资源，即决定资源的用途，而且

把分配资源放在该系统内,即作为制约性体系做到系统里去,就可以规定单元之间和子系统之间的相互关系。

在机械系统中,各种机器的相互关系或各机器系统的相互关系,是取决于工程的设计的。而在包括组织或人的系统中,这种关系则以动作的标准或动作的方向等形式结合在一起。因此在硬件和软件双方建立单元之间和子系统之间的制约性的工作,就叫做系统设计。

(4) 系统管理

通过这种系统设计,以系统内制定的制约体系为轴心,使它与环境间的相互作用结合在一起,同时使系统动作。为了防止其动作结果不致于从制约体系所示处,即从标准或计划所规定处脱离掉而进行的控制过程,叫作系统管理。

系统管理的前提是,为实现上述的制约体系,必须进行工程学方面以及社会方面的努力。这一系统具有努力跟踪的标准或计划,如果检测出实施的结果脱离这种标准或计划,便可立即将其差异反馈回去,使实施结果接近于标准或计划。即系统管理上要求确实保证控制论的控制部分可以工作。

(5) 系统革新

系统管理的前提,是计划或目标等的制约体系具有控制能力。如果这种计划或目标失去跟踪的能力时,即环境发生了大的变化,而计划或目标却不能准确地判断实际情况时,不管这种判断是由机器还是由人来进行,都必须变更制约体系。这时,就需要用某些方法探索新的机会,使它产生新的问题意识。使这种系统大幅度地提高的过程,叫做系统革新。

第三节 系统工程学的现状与展望

系统工程学之所以能够这样引人注目，一个很大的原因是阿波罗宇宙飞船的发射成功。也就是在阿波罗飞船上，为了用庞大数量的单元组成整体要求精度极高的系统，就需要采用过去的工程学所没有采用过的新的方法论。构成新方法论基础的无疑是被称为系统思维的东西，其特征有如下几点：

(1)对构成单元相互之间及子系统相互之间的复杂关联进行观察、测定或研究，从而认识系统固有的结构。

(2)以系统固有的结构为媒介，发现或设定各构成单元或各子系统与系统整体之间固有的联系。

(3)参照系统整体的目的或评价标准，从部分和整体之间固有关联的信息角度出发，来评价各单元或各子系统的功能。

(4)各单元或各子系统根据共同的目的或评价尺度进行评价，然后从各单元之间和各子系统之间有可能进行比较评价的地方出发，认识各单元和各子系统对整体的不同贡献程度。

(5)考虑单元间和子系统间的重要性的顺序来分配受到制约的资源。换句话说，就是根据重点有效地来分配资源。

这样的系统思考与过去的工程设想相比，可以说具有完全不同的思想。因为过去的工程学设想是想通过重视各个单元的方法来确保系统性能的。也就是说，过去的工程学是想利用构成单元的良好程度和高性能或子系统的良好程度和高性能，来确保和维持整个系统的总功能。与此相反，这里所

述的基于系统思考产生的系统工程学，则往往是首先断定全体的立场，然后再参照这种立场来决定各个单元所必需的足够性能。假如过去的工程学是用单元的良好程度来保证全体的良好状态的话，那么系统工程学的考虑方法是利用各单元间的巧妙联系和各子系统间的巧妙联系，这比提高每个单元的良好程度更能提高整个系统的水平。

因此，如能利用 1 性能的单元和 2 性能的单元得到 3 性能的单元，则可不特殊考虑系统工程学的优点，而把 1 性能的单元与 2 性能的单元巧妙地组合起来，就能在全系统中实现 30 条或 300 条不同的指令，这种优越的性能应该说是系统工程学的精髓。

这种情况，如以阿波罗计划为例，就可以一目了然了。假如想用各个单元可靠性的乘积来实现整个阿波罗系统所表示的那种高度可靠性的话，则要求各个单元可靠性相对地要高于整个系统的可靠性。与此相反，如果依靠系统工程学的话，由于采用巧妙的“回路设计”，那么即使单元的可靠性相对来说不高于全系统的可靠性，也能维持和发挥全系统的高度可靠性。

以这种系统思考为基础的系统工程学的设想和方法，一直被利用在交通管制系统和宇宙飞船系统等方面，并且取得了良好的效果。不仅如此，今后还将被用于企业系统、社会系统，甚至被利用于象世界系统那样人类社会活动大规模集聚的系统。

当然，人的因素是以解释清楚个人或集体所具有的特性为前提的。但是由于社会科学或行为科学建立较晚，因而与掌握工程学的构成机器或子系统的特性相比，可以说落后得