

高等学校规划教材

矿业系统工程

辛镜敏 蒋国安 主编

煤炭工业出版社

161.4

95
F407.161.4
2
2

高等学校规划教材

矿业系统工程

辛镜敏 蒋国安 主编



3 0087 8606 7

煤炭工业出版社



C

210378

(京)新登字042号

内 容 提 要

本书全面介绍了近年来我国煤炭系统的科技工作者在运筹学、系统工程、计算机在矿业中应用方面的理论与实践成果。全书共十四章,涉及到规划论、统筹方法、排队论、存贮论、决策论、可靠性、计算机模拟、层次分析法和动态预测方法等。

本书可作为煤炭高等学校采矿工程专业本科生、硕士研究生的教材,也可供煤矿采矿工程技术和管理人员参考。

高 等 学 校 规 划 教 材 矿 业 系 统 工 程

辛德峻 蒋国安 主编
责任编辑:刘社育 刘泽春

*

煤炭工业出版社 出版
《北京崇文门东大街甲46号》
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092mm^{1/16} 印张20^{3/4}
字数493千字 印数1—875
1995年3月第1版 1995年3月第1次印刷
ISBN 7-5020-1020-3/TD-826
书号 3788 G0302 定价11.70元

前 言

运筹学、系统工程和电子计算机技术是本世纪发展起来的新兴学科,已在生产管理、工程技术、军事作战、科学试验、财政经济以及社会学等行业中得到了极为广泛的应用。

近10年来,我国煤矿生产中的许多技术和经济问题的决策,也开始引入运筹学、系统工程的方法和理论,并普遍采用了计算机技术。如,矿区和矿井的中长期规划;矿井开拓开采设计方案及其主要参数的优选;矿井主要生产系统和采煤工作面的模拟与控制设计;矿井采掘计划的编制与检验等。这为采矿工程的技术、经济和安全生产的决策提供了新的理论依据和强有力的现代化手段,提高了决策的准确性和可靠性,蕴含着巨大的经济效益和社会效益。

为了适应我国煤矿现代化建设的需要,采矿工程专业的学生不仅要掌握先进的采矿技术,而且要学习和掌握现代化的科学管理知识。为此,煤炭系统各高等学校教学计划中都增设了这方面的课程,也出版了一些相关的教材。

编者通过总结我国煤矿工作者近年来在运筹学、系统工程和计算机在矿业中应用方面的理论与实践成果,结合教学中的经验教训,并参考过去编写的讲义,编写了这本《矿业系统工程》。该书共14章56节,内容比较丰富。在编写过程中,编者除考虑到学科理论的系统性外,并着重于解决煤矿实际问题的建模方法和解题技巧的介绍,力求做到深入浅出,通俗易懂,以利于学生掌握运筹学和系统工程内容的实质,并培养解决实际问题的能力。

本书由辛镜敏、蒋国安主编。各章节的编写分工如下:

第一章	辛镜敏
第二、四、五、九、十章和第十四章第二节	卢崇华
第三章	贺祖琪
第六章	卢崇华 蒋国安
第八、十一章	俞书伟
第十二章	辛镜敏 王学明
第七、十三章和第十四章第一、三节	蒋国安

由于时间仓促,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

1994年12月

目 录

第一章 总论	I
第一节 系统的基本概念	1
第二节 系统工程的概念	5
第三节 矿业系统工程	14
第四节 教学安排	20
第二章 线性规划	21
第一节 线性规划问题及其数学模型	21
第二节 线性规划问题的图解法	23
第三节 单纯形方法	28
第四节 对偶线性规划问题	40
第三章 多目标规划	45
第一节 多目标规划模型概述	45
第二节 目标规划模型	48
第三节 目标规划模型的图解法	55
第四节 多阶段单纯形算法	56
第五节 目标规划应用实例	65
第四章 整数规划	69
第一节 数学模型	69
第二节 分枝定界法	69
第三节 0-1规划	72
第四节 指派问题	74
第五章 非线性规划	79
第一节 非线性规划的基本概念	79
第二节 一维搜索	82
第三节 无约束最优化问题的解法	84
第四节 非线性规划问题的解法	88
第六章 动态规划	95
第一节 动态规划的基本方法	95
第二节 动态规划的应用举例	104
第七章 统筹方法	112
第一节 图与网络分析	112
第二节 工程进度计划的PERT-CPM方法	119
第八章 排队论	134
第一节 概述	134
第二节 最简单单流与负指数分布	137
第三节 损失制系统模型	140

第四节	等待制系统模型	145
第五节	混合制系统模型	150
第六节	非泊松排队模型	155
第九章	存贮论	158
第一节	存贮论的基本概念	158
第二节	确定性存贮模型	160
第三节	随机性存贮模型	166
第四节	存贮论的应用	168
第十章	决策论	172
第一节	决策的概念和分类	172
第二节	决策模型和报酬矩阵	172
第三节	确定型决策问题	174
第四节	风险型决策问题	174
第五节	不确定型决策问题	180
第六节	效用与决策	183
第十一章	可靠性	188
第一节	概述	188
第二节	元件的可靠性	190
第三节	典型不可修复系统可靠性	203
第四节	典型马尔可夫可修系统可靠性	216
第十二章	计算机模拟	231
第一节	概述	231
第二节	随机数和随机变量的产生	236
第三节	等步长模拟法	244
第四节	事件步长模拟法	251
第五节	模拟结果的统计分析	258
第十三章	层次分析法	262
第一节	层次分析法的数学基础	262
第二节	层次分析法的应用	271
第三节	层次分析法的动态排序问题	280
第十四章	动态预测方法	284
第一节	时间序列预测法	284
第二节	灰色预测方法	299
第三节	系统动力学方法	308
主要参考文献		323

第一章 总 论

第一节 系统的基本概念

一、系统的概念

系统作为一个概念来源于人类的社会实践。人类自有生产活动以来，都是在同自然系统和人造系统打交道。人类的社会实践活动都有不同程度地体现了朴素的系统概念的自发应用。例如，我国四川省灌县境内举世闻名的都江堰工程就是我国古代人民自发应用朴素系统思想的典型范例。这一伟大工程是公元前250年战国时期由秦国的蜀郡太守李冰父子带领当地人民设计修造的。该工程包括“鱼嘴”分水工程，它把岷江分为内江和外江两部分；“飞沙堰”分洪排沙工程，它处于分流后的内江和外江之间，由飞沙堰和人字堤工程组成。这两级溢洪道，控制了内江水位。它们前后呼应，略高于两江水面，而内江水面又高于外江水面，因此，水小为岸，水大为口，流石沉堰，洪落沙收；“宝瓶口”引水工程，它将玉垒山劈开，引水进入灌溉渠道。这三大工程外加一百三十个附属渠堰工程，形成了一个相互联系、恰到好处、运转协调的总体工程。系统思想在人类社会实践中的体现实例很多，这里不一一介绍了。

系统的概念，不仅表现在古代人类的实践中，而且在古中国和古希腊的哲学思想中得到了反映。英文系统（System）一词就最早出现在古希腊语中，有“共同”和“给以位置”的含义，即指事物中的共性部分和每一事物应占据的位置。古希腊辩证法奠基人之一赫拉克利特（约公元前460~370年），在《论自然界》一书中说过：“世界是包括一切的整体”。我国春秋末期思想家老子强调自然界的统一性（见《老子》第二十五章）。南宋陈亮（公元1143~1194年）的理一分殊思想，称理一为天地万物的理的整体，分殊是这个整体中每一事物的功能，试图从整体角度说明部分与整体的关系。古代朴素唯物主义哲学思想虽然强调对自然界整体性、统一性的认识，却缺乏对这一整体各个细节的认识能力，因面对整体性和统一性的认识是不完全的。

系统思想和概念在哲学上的最完全和最科学的反映是马克思主义的辩证唯物论。马克思、恩格斯的辩证唯物主义认为，物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体。辩证唯物主义体现的物质世界普遍联系及其整体性的思想，也就是系统思想。

由于受历史发展的限制，在二十世纪前，系统思想在科学技术上没有形成系统的科学概念。在二十世纪以后系统思想才发展成为一门新兴的科学体系——系统科学和它的应用学科——系统工程。系统科学的原理和系统工程的方法是现代科学技术对于系统思想方法的重大贡献。它使系统这一概念具体化，使系统思想方法定量化，成为一套具有数学理论、能够定量处理系统各组成部分联系关系的科学方法，也就是说它为分析和解决系统问题提供了科学的理论和方法。

根据Webster辞典的说明，“System”（系统）是“有组织的和被组织化的整体”。

在日本工业标准 (JIS) 中, 系统的含义是“许多构成要素保持有机的秩序 (即有序化), 向同一目的行动者”。当今, 多数学者把系统定义为: “系统是由两个以上相互区别、相互联系和作用的要素 (或单元、组成部分) 有机结合起来完成特定功能的统一体”。这一系统又是它所从属的另一更大系统的组成部分, 而且构成该系统的要素本身也可能是系统, 它相对于原来的系统来说是子系统, 子系统又由更基本的元素组成。因此, 系统的规模范围是相对的, 它依所研究问题的需要而界定。一台采煤机组, 一个采区, 一个矿井, 一个学校, 一个部门都是一个系统。一项计划, 一种组织和一套制度等也都可以看成是一个系统。所以, 我国著名科学家钱学森主张“把极其复杂的研究称为‘系统’, 即相互作用和相互依赖的若干组成部分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”。这是对系统的含义比较全面的概括。

系统具有输出某种产物的目的, 但它不能无中生有。也就是说, 系统输出必需有输入并经过处理才能得到。输出是输入处理的结果, 代表系统的目的; 处理是使输入变为输出的一种活动, 一般由人与设备分别或联合担任。输入、处理、输出是组成系统的三个基本要素, 加上反馈就构成一个完备的系统, 其框图如图 1-1 所示。

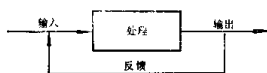


图 1-1 系统的要素

二、系统的特征

从以上对系统的定义的论述可以看出, 系统具有如下特征:

(1) 目的性。人造系统均具有目的性, 有着确定的目标, 且往往不止一个目标, 而是多个目标。

系统的目的决定着系统的基本作用和功能。系统目标是依据系统存在的问题和解决问题的需要来确定的, 因此, 搞清系统存在的问题, 对其有深刻的分析和清晰的理解是至关重要的。系统目标可以定性地表述, 也可以定量地表述, 但应当尽量数量化。系统目标通常由一系列反映系统本质特征和整体特性的指标体系来体现。

系统的目标有着层次的结构。在系统的总目标之下一般都有数个层次的分目标。各个层次的指标相互联系、相互制约、共同反映系统的整体特征。系统的分目标应当在总目标指导下确定, 就是说系统的分目标集必须保证总目标的实现。在一般情况下, 系统的相互独立的分目标之间可能存在着矛盾。例如, 设计一个年产量合理的煤矿系统, 它的分目标有“吨煤基建投资最少”, “吨煤生产费用或吨煤成本最低”, “实现较高的安全与环境标准, 保证安全生产”等等。显然, 这些目标是相互矛盾的。较少的基建投资往往导致较高的生产运行费用; 高的安全和环保标准又要求有较多的投资和使生产费用增加。在此情况下, 采取某种形式的折衷 (Trade-off) 是必要的, 以求分目标之间的平衡。

(2) 集合性。系统的集合性是说, 系统起码由两个或两个以上的相互区别的要素所组成, 一个要素构不成系统。

(3) 相关性。系统的组成要素是相互作用、相互依存又相互制约的。集合性确定系统的组成要素, 相关性则说明这些要素之间的关系。系统的相关性可能表现在系统要素的空间结构、排列顺序、时间序列、数量比例、相互作用、信息传递以及操作程序、管理方式等方面, 这些关系构成了系统的相关关系集。

(4) 阶层性 (或层次性)。系统做为一个相互作用要素的总休, 有着一定的层次结构。系统结构的层次性包括等级性和多侧面性两重含义。等级性是指任何一个复杂系统, 都可以从纵向上把它分解为若干等级, 即存在着不同等级的系统层次关系。这种分解的基本标志是目标, 不同的功能目标要求产生不同的等级子系统。低一级的子系统是高一级的系统的有机组成部分。系统结构的多侧面性则是指任何同一级的复杂系统, 又可以从横向上分为若干相互联系和相互制约又各自相对独立的分系统。

系统的阶层性体现了系统目标逐级的具体化和系统要素及其相互关系在系统结构中的位置和隶属关系。

(5) 整体性。整体性是从协调的侧面说明上述四个特征的, 即具有独立功能的系统要素以及要素间的相互关系和在阶层上的分布, 只能根据逻辑统一性的要求而协调统一于系统的整体之中。这说明, 系统作为由若干相互作用、相互联系的要素以一定方式有机地结合而形成具有一定结构和功能的统一整体。因此, 它的本质特征就是有机的整体性。作为整体性主要表现为整体联系的一致性, 即整体与要素之间、要素与要素之间、系统与环境之间联系的一致性。例如, 人体系统包括有许多细胞、组织和器官, 它们的形态各异, 功能也不相同, 但它们彼此并不是孤立地存在着, 而是按照一定的关系有机地结合在一起, 适应整体活动的需要, 相互协调一致地活动着。

系统的这种整体联系的一致性系统整体所以能够有规律地运动, 所以能呈现出各个组成部分 (要素) 所不具有的系统新质, 并表现一定的系统特性和系统功能的原因。系统整体性表明, 任何一个要素不能脱离开整体去研究, 离开了整体就失去了作为该整体的要素的品格, 要素间的联系和作用以及阶层分布也失去了意义。系统整体性还表明系统的整体功能不等于各要素功能的简单相加, 即“整体不等于它的部分之总和”。对于要素内在联系紧密, 组织化程度高的系统来说, 一般是“整体大于它的部分之总和”。这就是著名的亚里士多德的哲学命题, 也有人称之为系统整体性原理。这一原理成为人类在改造自然、改造社会的实践中应遵循的行动准则, 从而也成为现代系统工程中系统设计与实施的整体化原则。

(6) 环境适应性。任何一个系统都存在于一定的物质环境之中 (即更大的系统)。因此, 它必然要与外部环境发生物质、能量和信息的交换, 必须适应外部环境的变化。能够经常与外部环境保持最佳适应状态的系统是理想的系统, 不能适应环境变化的系统是没有生命力的。

(7) 动态性。系统的整体联系是在运动中进行的, 随着时间的推移而发展变化。

三、系统的分类

为了从不同的角度对系统的性质进行研究, 我们需要对系统存在的各种形态加以探讨。系统的分类方法很多, 主要有:

1. 无机系统、生物系统和社会系统

这是按系统的自然发展层次来划分的。由自然界的无机物质构成的系统称为无机系统, 如原子结构系统、矿物结构系统等。无机系统没有自身目的, 所以又称为无目的系统。

由有生命物质构成的系统称为生物系统, 如人体系统、动植物群体等都是生物系统。以人为基本单元的系统称为社会系统。生物系统是在无机系统的基础上发展起来的,

社会系统又是在生物系统的基础上发展起来的。因此,生物系统相对无机系统是高层次系统,社会系统相对生物系统是更高层次的系统。生物系统和社会系统有其自身的目的,所以,它们又称为目的系统。

2. 自然系统与人造系统

这是从构成要素的性质来划分的。自然系统就是由矿物、植物、动物等自然物组成的系统,它的特点是自然形成的。如生态系统、海洋系统、气象系统、矿藏系统等都是自然系统。

人造系统是人类为了各种目的而制造出来的系统,如生产、交通、运输和管理系统等。人造系统一般包括三种类型:一是人类对自然物加工、造出各种机器而构成的工程技术系统;二是由一定的制度、组织、程序、手续等所构成的管理系统;三是根据人们对自然现象和社会现象的科学认识而创立的学科体系和技术体系。

实际上,大多数系统是自然系统与人造系统相结合的复合系统。在人造系统中,有许多是人们运用科学力量改造了的自然系统。例如,一个煤矿生产系统就是人造的井巷系统和各种采、掘、运、通等机器设备系统与煤层矿藏自然系统相结合的复合系统。随着科学技术的发展,将创造出越来越多的人造系统。了解自然系统的形成及其赋存的规律,是创立人造系统的基础。更值得注意的是,要从正确处理好人造系统与自然系统的关系上研究和创造人造系统,以防止由于人造系统的建立而导致自然生态系统的平衡被破坏,威胁人类的生存。

3. 实体系统和概念系统

实体系统就是由矿物、生物、机械、能量和人等实物要素所构成的系统。概念系统则是由概念、原理、方法、制度、程序等非物质要素而组成的系统,如科学技术系统、法律系统、管理系统、教育系统等。

实际上,实体系统和概念系统在多数情况下是不可分割、相互结合的。例如,煤矿安全系统就是煤矿生产实体系统和煤矿安全管理制度、办法及事故分析、评价和预防措施等组成的概念系统相结合的合成系统。实体系统是概念系统的基础,而概念系统则为实体系统的运行提供指导和服务。

4. 静态系统和动态系统

这是从系统的状态与时间的关系来考虑的。动态系统就是系统的状态变量是随时间而变化的,即表征系统状态的变量是时间的函数。反之,则是静态系统,即表征系统运动规律的数学模型中不含时间因素。事实上,完全静态的系统是不存在的,只是系统状态随时间的变化极小,可以忽略不计,而近似地看作静态系统。此外,静态系统并非指系统和系统中一切都是静止的,它仅仅是指系统中的物质、能量和信息的交换是处于平衡状态。所以说,静态系统只是动态系统的一种极限状态。

5. 封闭系统与开放系统

这是根据系统与环境联系的方法及密切程度来划分的。封闭系统又称孤立系统,是指与环境不发生物质、能量和信息交流的系统。绝对孤立的系统是不存在的,只是有时为了研究方便起见,把某些与环境联系少的系统近似地看作封闭系统。

一个系统如果与环境有较多的物质、能量、信息的交换,即与环境具有输入—输出关系,就称为开放系统。自然界存在的系统都是开放系统。

还有根据其它一些分类准则来划分系统的。如线性系统和非线性系统；连续系统和离散系统；确定性系统和随机系统；黑色系统、白色系统和灰色系统等等。限于篇幅，这里不多介绍，读者可根据需要参阅有关文献。

第二节 系统工程的概念

一、系统工程的涵义

系统工程 (Systems Engineering) 是一门新兴的、综合性很强的边缘学科，尚处于发展阶段，所以至今尚未形成统一的定义。国外对量化系统思想方法的实际应用相继取了不同的名称，如：运筹学 (Operations Research)、管理科学 (Management Science)、系统工程 (Systems Engineering)、系统分析 (Systems Analysis)、系统研究 (Systems Research)、费用效果分析 (Cost-Effectiveness Analysis)，等等。仅系统工程国内外一些学者就从不同侧面作了人各一词的解释，现列举如下，以便认识系统工程的含义。

(1) 1967年日本工业标准JIS规定：“系统工程是为了更好地达到系统目标，而对系统的构成要素、组织结构、信息流动和控制机构等进行分析与设计的技术”。

(2) 1967年美国学者切斯纳指出：“系统工程认为虽然每个系统都是由许多不同的特殊功能部分所组成，而这些功能部分之间又存在着相互关系，但是每一个系统都是完整的整体，每一系统都有一定数量的目标。系统工程则是按照各个目标进行权衡，全面求得最优解的方法，并使各组成部分能够最大限度地互相适应”。

(3) 1971年日本学者寺野寿郎指出：“系统工程是为了合理地开发、设计和运用系统而采用的思想、程序、组织和方法的总称”。

(4) 1977年日本学者三浦武雄指出：“系统工程的目的的是研制系统，而系统不仅涉及到工程学领域，还涉及到社会、经济和政治等领域。为了适当解决这些问题，除了需要某些纵向技术以外，还要有一种技术从横的方向把它们组织起来，这种横向技术就是系统工程，也就是所研制系统所需的思想、技术、方法和理论等体系化的总称”。

(5) 我国著名科学家钱学森对系统工程的建立和发展，作出了重要贡献。他用马克思主义哲学作指导，提出了清晰的现代科学技术的体系结构，其中包括系统科学结构。他认为：系统工程是一大类工程技术的总称，“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”。他说，“用量化的系统方法处理大型复杂系统的问题，无论是系统的组织建立，还是系统的经营管理，都可以统一地看成是工程实践。……把服务于特定目的各项工作的总体称为工程，如水力工程、机械工程、土建工程、电力工程、电子工程、冶金工程、化学工程，等等。如果这个特定目的是系统的组织建立或者是系统的经营管理，就可以统统看成是系统工程。国外称运筹学、管理科学、系统分析、系统研究以及费用效果分析的工程实践内容，均可以用系统的概念统一归入系统工程；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，可以统一看成是运筹学”。^{〔1〕}在钱学森提出的科学技术的体系结构中（见图1-2），系统工程属于工程技术。工程技术的理论基础是技术科学。运筹学属于技术科学层次，是系统工程的理论基础。这样，钱学森同志便将“人各一词，莫衷一是”的情况澄清为“分门别类，共居一体”。他给了系统工程一个确切的描绘，并进而论述了系统工程在整个系统科学体系中所处的地位。

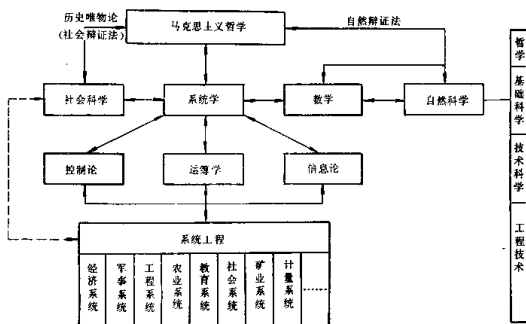


图 1-2 系统科学体系

综合上述，我们对系统工程的基本含义和特点概括如下：

(1) 系统工程是系统科学的重要组成部分，是它的应用部分，是一大门类工程技术。它以系统论的思想、观点为指导，以控制论、信息论和运筹学等为方法论，以行为科学和各类工程科学为背景，综合运用应用数学、运筹学等优化技术和计算机等为手段，把研究对象作为系统对其进行分析、设计、评价、建造、控制和组织管理，使其各组成部分互相协调、互相配合以达到系统的整体功能和效益最佳。

(2) 系统工程的核心思想是系统的整体性原则，一切系统都是由各子系统（或要素）有机结合的整体，其功能不等于各子系统的功能的简单总和。所以，在研究和处理系统问题时，要以系统的整体目标最佳为准则，全面考虑和处理系统各组成部分之间以及系统与环境之间的关系。避免只见树木，不见森林的局部观点。在实践中，某些技术措施在局部看来效果是好的，但从全局来看就不一定好。另外，也有相反的情况，即某些技术措施从局部看效果不一定理想，但从整体效果看却是好的。因此，系统工程要求局部服从全局，它不要求所有子系统都是最佳的。

(3) 系统工程作为一门工程技术，其主要特点之一在于它的实践性和技术应用上的综合性。系统工程的实践性特点表现在它是改造客观世界，即改造自然系统和创造人类社会所需要的各种系统的应用技术。因此，它强调实践效果。它不仅要求运用各种数学方法、优化技术和计算技术以及控制理论等来实现系统的分析和设计，而且还要求应用工程的方法、步骤和程序，应用大量社会实践总结的成功经验和各种实用技术来解决系统组建和组织管理等实际问题。在解决实际问题的过程中，离不开具体的环境和条件，离不开事物本来的性质和特征，因而避不开客观事物的复杂性，必然要综合运用各种学科和技术领域内的成果。一切工程技术无不如此，都是综合性的，系统工程更是如此，可以说，它是

高度综合性的工程技术。

(4) 系统工程的另一特点在于它是软技术——组织管理的技术。在科学技术领域,由传统的重视有形产品转向现代更加重视无形产品带来的效益,这“无形产品”就是软科学或软技术的应用。系统工程是软科学的最重要的组成部分。软科学是借用电子计算机“软件”的名称而来的。软件的重要作用表现在它能有效地提高计算机的使用效率,扩大计算机的功能。

事实上,世界上许多事物也是由“硬件”和“软件”组成的。系统工程在组建或改造系统过程中,有两个并行的过程,一个是工程技术过程,即硬件系统组建或改造的过程;另一个是组织管理和控制的过程,是软件过程,以保证硬件系统的实现能按照科学的、合理的逻辑程序进行,同时保证系统各组成部分有机地结合好,协调配合好,以达到最佳的系统整体目标,即在技术上先进、可靠,在经济上合理。因此,系统工程的功能和作用在系统组建、运行或改造过程中,如同计算机“软件”的作用一样。“硬件功能发挥多大,要看软件的水平有多高”,这形象地说明了系统工程的重要作用。

二、系统工程的形成和发展

系统工程的产生不是偶然的。正如列宁所说,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,是点滴经验的总结,是逐步形成的。如前所述,系统思想和系统工程方法的实践应用可以追溯到古代,如我国战国时期(公元前250年)李冰父子主持修建的都江堰水利工程,至今仍不愧为一项杰出的系统工程典范,当然还有其它历史实例。但是,系统工程作为一门学科还是形成于本世纪五十年代。二十世纪以来,由于社会生产力的迅速发展,现代科学技术活动的规模有了很大扩展,工程技术复杂程度不断提高,使自然科学,技术科学以及社会科学之间的整体性联系日益突出。五十年代中期,系统工程正是适应这种整体性联系而创立的一门新兴的边缘学科。

从具有现代系统科学涵义的角度来看,最早引入系统概念的是美国的泰勒(F.W. Taylor)。他在1911年发表的《科学管理原理》一书中提出了现代系统的概念。一般认为,泰勒的理论和实践标志着传统管理时代的结束,科学管理时代的开始,因此,欧美企业家们称他为“现代管理学之父”。二次世界大战时,丹麦哥本哈根电话公司的A.K.厄朗(A.K. Erlang)和美国贝尔电话公司的E.C.马利纳(E.C. Molina)在研制电话自动交换机时采用了系统思考方法(System Thinking),或系统处理方法(System Approach)。

二次大战期间,英国面临如何抵御德国飞机轰炸的问题,一批科学家研究雷达系统的运用,创造了“运筹学”(Operations Research),之后,运筹学又推广到军事决策和战争指挥。著名的大西洋潜艇战役和北非登陆战役,都借助于运筹学取得了胜利。一般认为,这就是系统工程的萌芽。战后运筹学迅速推广到一般企业经营管理方面和战略研究方面,发展很快。1945年,美国军事部门成立了兰德公司(RAND Corp.),开发了许多系统数学分析方法,并在各种系统的研制中获得了成果,这些分析方法和技术一般称为系统处理方法或系统分析(System Analysis),它们奠定了今天系统工程的基础。

1957年H.古德(H. Goode)和R.E.马科尔(R.E. Machol)出版了第一本命名为《系统工程》(Systems Engineering)的著作。此后,人们把研究新的系统的设计和运行,研究已有系统运行、管理和改造以达到整体目标最佳的技术体系称为系统工程。当然,也有

许多学者由于从事的科技领域不同,他们从各自不同的角度,对系统工程的涵义赋予不同的解释,给予不同的名称,出现了如前所述的“人各一词、莫衷一是”的情况,是可以理解的。

由于受到计算手段和方法论的限制,系统工程这门新兴学科此时尚未受到普遍的重视和广泛的应用与发展。电子计算机的出现(1946年)和普及,为系统工程的实施提供了强有力的运算工具和信息处理手段。

美国的阿波罗登月计划是运用系统工程处理复杂大系统的一个成功例子。该计划历时11年(1961~1972年),参加研制的工程技术人员42万人,2万多家公司和工厂,大学和研究机构120所,使用了600多台电子计算机,耗资300多亿美元。由于采用了系统工程的方法,使计划按时完成。该计划的成功,引起了人们对系统工程的广泛注意和重视。

70年代以来,系统工程得到了迅速的普及和发展。它的应用已远远超出了传统工程的领域,已进入到解决各种复杂的社会—技术系统和社会—经济系统问题的领域内。

目前,在许多国家里,系统工程几乎达到家喻户晓的程度。在发达国家的许多大学均设有系统工程系,或相似的工业工程/运筹学系(IE/OR系)或开设系统工程方面的课程。在世界许多地方都建立了以系统工程为主体的各种咨询机构。总部设在维也纳的由东、西方十几个国家的系统工程学者共同组成的国际应用系统分析研究所(IIASA-International Institute of Applied System Analysis)完成了几百项重大的国际性或地区性的系统工程研究成果。

综上所述,系统工程的形成,从20年代泰勒的科学管理,40年代运筹学的产生和发展,使管理科学与最优化技术结合了起来,到50年代初形成了系统工程这一学科的体系,60年代电子计算机的发展和现代控制理论的创立,为系统工程的发展提供了强有力的手段和重要的理论、方法。70年代以后,行为科学、思维科学以及知识工程、模糊集和灰色理论等新学科渗入到系统工程,使它的功能和作用更加强化,应用范围更加扩大。系统工程作为一大门类的新兴的边缘学科,它还在发展中。

系统工程在我国的发展可以说是始于50年代后期对运筹学的研究和应用。1956年,在中国科学院力学研究所建立了我国第一个运筹学研究小组。华罗庚教授从60年代初期起在我国大力推广“统筹方法”(计划评审技术),并取得显著成就;在这同时,随着国防尖端技术科研工作的发展,我国在系统工程的总体设计组织方面也取得了丰富的实践经验。1977年以后系统工程的研究和应用开始了新的发展历程,出现了新的局面。1979年10月,在北京举行了首次全国性的系统工程学术讨论会,国务院领导、军委领导和有关部门领导出席了会议的开幕式,体现了党和政府对系统工程在四化建设中作用的重视。此后,清华大学、西安交通大学、天津大学等十几所高等学校相继成立了系统工程研究所(室、系),开始培养系统工程方面的本科生和研究生。中国航空学会举办了系统工程和运筹学讨论班,为有关行业部门培养了一批开展系统工程研究和应用的专家学者。1980年初,中国科学院系统科学研究所正式成立。此后,系统工程在工业、农业、军事、以及科研、教育、计量等部门的各有关领域得到了广泛的研究和应用。煤炭工业系统从1980年在中国矿业大学北京研究生部举办第一期系统工程与运筹学培训班起,系统工程在煤炭工业的研究与应用逐步深入发展,受到越来越多的重视,并于1986年中国煤炭学会成立了煤矿系统工程专业委员会。随着决策科学化和民主化制度的建立与完善,系统工程必将在我国得到进一步

的发展,为我国四个现代化建设做出更大的贡献。

三、系统工程的程序和基本方法

一个复杂的人工系统,从其开始组建到投入运行使用,要经过一个过程,这个过程的合理展开就是系统工程的程序和方法的主要内容。

1. 系统工程的程序

美国学者霍尔(A.D.Hall),1969年提出了系统工程的三维结构,它概括了系统工程按时间顺序展开的程序阶段、按方法逻辑展开的方法步骤以及全过程中各阶段所应用的科学技术领域(图1-3)。

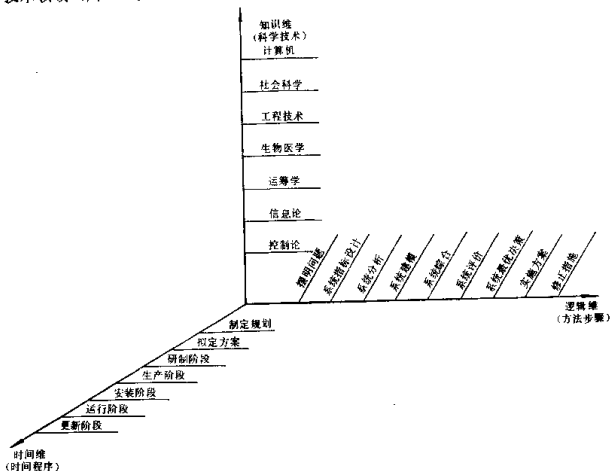


图 1-3 系统工程的三维结构

(1) 时间维——是指系统工程从规划到投入运行,以及到系统更新全过程按时间分成的阶段。通常分为七个阶段:

A. 规划阶段——研究和确定系统工程活动的目的、目标和要求以及谋求系统工程活动的政策或规划;

B. 拟定方案——提出具体的计划方案;

C. 研制阶段——实现系统的研制方案,并作出生产计划;

D. 生产阶段——生产出系统的零部件及整个系统,并提出系统的安装计划;

E. 安装阶段——把系统安装好,并完成系统的运行计划;

F. 运行阶段——系统按其预测功能用途运行、维护和管理;

G. 更新阶段——取消旧系统代之以新系统,或改造原系统,使之适应新的要求,更

有效地工作。

(2) 逻辑维——指在系统工程的每一个时间阶段所要完成的工作步骤，通常有九个步骤：

A. 摆明问题——全面收集有关待解问题的历史、现状和发展趋势的资料和数据，把问题的形成和问题的边界弄清楚；

B. 系统指标设计——确定待解问题的目标和建立评价目标的价值指标体系及标准；

C. 系统分析——根据系统目标的要求，运用各种分析手段来分析对象，通过对满足要求的各种条件的分析和研究，得到系统设计所需要的足够信息，以便设计出最合理、最优的系统；

D. 系统建模——用恰当的数学形式、语言形式、网络形式、图表或结构方框形式来说明系统的构成或行为，将研究对象的表现和过程的复杂关系用定性或定量的近似关系表达出来；

E. 系统设计（综合）——把可能入选的能够达到预期目的的政策、活动、控制或整个系统概念化；

F. 系统评价——从技术和经济的观点出发，对系统设计方案进行综合性评价研究，并考虑所设计系统成功的可能性；

G. 最优决策——对不同的可能对策，精心选择其参数和系数，进行优化处理，使它们都是满足系统指标的最好对策；在诸对策中，选择一个或多个供进一步研究参考；

H. 实施方案——在选定的对策中，根据实际可能制订并完成实施方案；

I. 修正措施——在实施方案中，发现系统的不足，提出修正措施。

应当指出，系统工程师工作一般都要按以上步骤反复进行；但在时间维的不同阶段，逻辑维步骤的侧重点是不同的。

(3) 知识维——指完成上述系统工程各项任务所需要的各种专业知识和理论方法。图1-3中仅列举了多数情况下所涉及的七个大类。

2. 系统工程的基本方法

所谓系统工程基本方法，就是从系统观念出发，根据系统的基本组成和性质，把研究对象作为系统来进行充分的了解，并采用各种分析工具和方法进行分析，再将分析的结果综合起来，编制出最大限度地满足要求的系统设计书；与此同时，对分析的结果和综合的系统设计进行评价，使之最有效地完成系统目的等各项要求事项。

上述系统工程的基本方法可用图1-4表示。

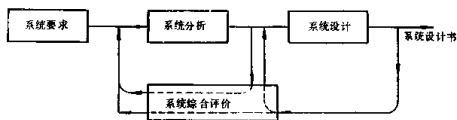


图 1-4 系统工程的基本方法

下面简要地介绍这三大基本方法的内容和相互关系。

(1) 系统分析。系统分析 (System Analysis) 是一个有目的、有步骤的探索和分析过程, 即, 为了给决策者提供直接判断和决定最优系统方案所需要的信息和资料, 从系统的总体最优出发, 采用各种科学的分析工具和方法, 对系统的目的、功能、环境、费用、效益等进行充分的调查研究, 收集、分析和处理有关资料和数据, 并据此建立若干替代方案和必要的模型, 进行分析计算或仿真试验; 把试验、分析、计算的结果同早先制订的系统目标要求进行比较和评价, 最后整理成完整、正确和可行的综合资料, 作为决策者选择最优系统方案的依据。

由此可见, 系统分析的目的: 通过分析比较各种替代方案的费用、效益、功能和可靠性等各项技术、经济指标, 得出最优系统方案。

系统分析, 如前所述, 是一个探索性的分析过程, 其一般步骤如图1-5所示。

由上图可知, 系统分析的步骤可以概括为以下四步:

A. 系统目的分析和确定。系统的目的和要求既是建立系统的根据, 也是系统分析的出发点。所以, 要首先正确全面地理解和掌握系统的目的和要求, 才能进一步分析系统的目的和要求是否确切、完整和合理, 才能为以后的分析工作奠定良好的基础。这一步的主要工作是分析和确定对象系统的目的和目标, 分析和确定系统需要的功能, 进而以这些数据作出概略模型进行仿真, 据此研究成功的可能性, 借以得到模型化所需要的概略技术条件。

B. 系统模型化 (Modeling, 即系统建模)。模型化是系统分析过程的重要步骤, 也是系统分析的核心内容之一。模型是系统 (事物、对象、现象、过程) 的客观写照或抽象描述。一般来说, 模型可分为实体模型和抽象模型两大类。

实体模型就是物理模型, 是按原型或按一定比例缩放的替代物。如风洞或波浪实验水箱, 将缩小尺寸的飞机或船舶模型, 分别放入风洞或水箱中, 可以试验飞机或船舶的性能。但这种方法往往成本高、难于控制, 笨重又不灵巧, 不便使用, 有些试验甚至是不可行的。

概念模型、模拟模型和数学模型都属于抽象模型。

概念模型又称思维模型, 是人们头脑中对客观事物、周围环境的认识、判断和决策。这种模型的缺点是其不确定性、不可鉴别性和不可沟通性等, 当人们面临复杂的系统与问题时, 简单直观的思维模型就无能为力了, 因为人的思维能力不可能处理高阶次、非线性和多回路的反馈系统。但思维模型也往往成为构造其它模型的雏型, 人们在进行系统研究时, 总是离不开概念模型的。

数学模型是用数学符号与方程式来描述系统内各组成部分的功能与彼此间的关系的。它有高度抽象性, 高度精确性, 构模投资少, 时间短, 易于修改变动, 易于扩展补充和计算机化等优点。但用数学模型描述社会经济系统时, 由于它的非线性与复杂性, 根本不可能获得解析解, 此时只好用模拟模型。

模拟模型是作模拟性试验的替代物。物理模型也是一种模拟模型, 但使用范围有限。另一类模拟模型是用数学方程式和逻辑表达式组成的模型, 按一定的时间间隔, 一步步计算模型的方程式的数值解, 从而获得表示系统内变量随时间变化的模拟结果, 即模拟系统的动态行为。当然, 这种模拟若用手工计算, 将会费时费人力的, 成本会很高。