

350

1000000000
1000000000
1000000000

系 统 工 程

左小德
林福永 编著
胡东波

暨南大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

系统工程/左小德, 林福永, 胡东波编著. —广州:
暨南大学出版社, 2000.6
ISBN 7-81029-818-6

I. 系… II. ①左…②林…③胡… III. 系统工程
IV. N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 25850 号

编 著: 左小德
策 划: 陆祖康
责任编辑: 陈云峰
责任校对: 袁冰凌

出 版: 暨南大学出版社 (广州·石牌)
排 版: 暨南大学出版社照排中心
印 刷: 广州市新明光印刷有限公司
经 销: 新华书店

开 本: 850 × 1168 1/32
印 张: 8.75
字 数: 219.5 千
版 次: 2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷
印 数: 1 - 5000 册

定 价: 15.00 元

前 言

系统的概念是一个整体的概念，系统工程在解决问题时追求的是整体上的最优，因此，系统工程有它特有的规律、研究对象、思考和工作方法。

本书介绍了系统及系统工程的一般概念，系统论的发展，系统分析的一般程序与方法。在此基础上介绍了系统工程的构思方法以及利用计算机实际问题时的仿真工具 GPSS/H（如果需要此软件可以直接与作者联系）与仿真方法。同时，配有利用系统工程的思想、工具和方法来解决一些实际问题的案例。

书中的案例大部分都是作者在实际应用系统工程的思想、工具和方法进行研究的成果总结，阅读这些案例可以帮助读者加深或理解系统工程的有关概念。本书可以作为高等院校企业管理、管理科学本、专科学生的教科书，研究生的参考教材，同时也可以作为其他专业研究生的参考用书。

本书在编写的过程中，参考了国内外一些学者和专家编著的同类教材和著作，并从中吸收了一些研究成果，在此，一并表示衷心的感谢。

本书由左小德负责主编，林福永编写第二章；胡东波编写第六章、第八章；左小德编写第一章、第三章、第四章、第五章；第七章由左小德和胡东波共同编写。同时，感谢薛声家教授阅读了全书的手稿并提出了宝贵意见，也感谢周永文对书稿进行的校对。

由于作者水平有限，书中的缺点和错误在所难免，恳请广大读者和专家们给予批评指正。

编者

1999年11月于暨南园

目 录

1 概述	(1)
1.1 系统和系统工程	(2)
1.2 系统工程的应用	(7)
1.3 系统工程的学科体系	(11)
2 系统论的产生和发展	(16)
2.1 现代系统论的诞生	(17)
2.2 一般系统论的发展	(21)
2.3 系统论的观点	(26)
3 系统的概念	(35)
3.1 系统的结构与功能	(36)
3.2 系统的分类	(38)
3.3 静态系统和动态系统	(39)
3.4 开环系统	(42)
3.5 反馈系统	(45)
4 系统分析的方法和步骤	(49)
4.1 系统问题状况的分析与目标的确定	(52)
4.2 系统设定和方案设定	(56)
4.3 待选方案的评价与最优方案的确定	(58)
4.4 案例一	(65)

4.5	案例二	(77)
5	系统工程的构思途径	(87)
5.1	系统工程的构思原则	(88)
5.2	软、硬系统工程的构思途径	(97)
5.3	系统工程的方法和工具	(106)
5.4	案例一	(108)
5.5	案例二	(117)
6	系统仿真概述	(127)
6.1	系统仿真的基本概念	(128)
6.2	系统仿真的类型与一般步骤	(132)
6.3	系统仿真与系统模型	(135)
7	系统仿真技术	(140)
7.1	伪随机数的产生	(141)
7.2	蒙特卡罗仿真方法	(158)
7.3	离散系统的仿真技术	(170)
7.4	连续系统的仿真技术	(175)
7.5	案例	(184)
8	离散系统仿真语言——GPSS/H	(193)
8.1	GPSS 概述	(194)
8.2	GPSS/H 仿真的工作流程与工作原理	(199)
8.3	GPSS/H 的基本模块	(216)
8.4	GPSS/H 的基本控制语句	(236)
8.5	GPSS/H 的标准数值属性	(245)

8.6 GPSS/H 的内部函数	(247)
8.7 GPSS/H 应用举例	(250)
参考文献	(261)

1

概 述

本章要求

- 了解系统的概念
 - 了解系统工程的应用
 - 了解和掌握系统工程的学科体系
-

1.1 系统和系统工程

“系统”（System）这个名词，目前已经使用得很广泛，不但在工程技术中我们经常碰到像自动控制系统、机械传动系统、建筑结构杆件系统这样一些工程系统；而且在医学、生物学中经常遇到像呼吸系统、神经系统等这一类由生物器官组成的系统；在社会经济生活中遇到管理系统等等；一部计算机是由中央处理机、主存储器、接口、外部设备组成的系统；一个钢铁联合企业是由采、选、冶炼、轧制、运输等多个部门和环节组成的生产系统。我们生活的这个世界也可以看作是一个多层次的极为复杂的系统。如果我们跳出这些系统的工程、经济、社会的具体运动形态，统一地从系统的整体和局部（元素）之间的相互关系来加以考察和研究，就可以看到系统的一些共性。国内外学者根据这些共性给系统下了概括的定义。不同的字典、手册和专著中系统的定义大体上都是这样的：

所谓“系统”，就是由相互作用和相互依赖的若干组成部分按照一定的规律合成，具有特定功能的有机整体。

系统具有下面的特征：

(1) 系统是由许多元素（元件、零件、单机）按照一定的方式组合起来的，系统这一特征称为系统的“集合性”。随着生产技术与社会的发展，系统中元素数目会愈来愈多。

(2) 系统的各个组成部分之间是互相联系、互相制约的，系统的这一特征称为系统的“关联性”，这种关联并且是具有一定的规律的。

(3) 系统总是具有特定的功能，不管是自然系统还是人造系

统，系统的存在都具有特定的功能，即存在的合理性。特别是人所创造的大中型改造系统，总有一定的目的性，各个单元正是按照这个目的而组织起来的，人造系统的这一特征可称为“目的性”。

(4) 任何系统总是存在并活动于一个特定的环境之中，与环境不断进行物质、能量和信息的交换。系统必须适应环境，这种特征可称为系统的“环境适应性”。

系统工程 (**Systems Engineering**) 研究的对象，是各种“系统”的规划、研究、设计、建造、试验和使用的科学方法，这类方法对各种“系统”都具有普遍的意义，系统工程是跨越各个学科领域的方法性科学。

由于现代工业、农业、国防和科学技术的发展，出现了许多规模庞大、结构复杂的系统，例如钢铁、化工联合企业的生产系统、电力系统、交通运输系统、军事指挥系统、社会经济系统、环境生态系统等。这些系统经常具有综合性的功能和目的，需要从结构组合、技术性能、经济效益、社会效果、生态影响等多个方面来进行研究和考虑。系统工程正是从整体上综合研究这些系统的结构和功能的共性的一门学科。

由于系统工程的研究对象一般来说都是人所建造或改造的系统，这类系统是由人和设备、过程组合而成的。一般说来，系统有输入和输出。外界环境会向系统输入物质、能量或信息，这些物质流、能流、信息流不断受到加工、变换和处理，然后输出处理的结果。

不但系统中的物流、能流、信息流是处在不断的运动之中，而且系统本身也是处在不断的发展变化之中的，经历了产生、发展、壮大和衰亡的整个生命周期。

复杂的系统中还具有反馈的环节。而且在复杂的系统中，从

空间或时间的划分上还具有不同的层次。

各式各样的系统，都具有这样的一些共性。系统工程就是要从这样的一些侧面来统一研究各式各样的系统。

系统工程的思想和方法，是千百年来人们生产实践的总结。在人类历史上，人们在从事复杂的工程建设时，已经开始摸索到了一些系统工程的方法。公元前 250 年，我国唐朝李冰父子在修筑都江堰时，就把分洪、引水、排沙巧妙地结合在一起，这便是系统工程的思想。北宋真宗时皇宫失火，丁渭主持修复，其中清理废墟、挖土烧砖、运输建筑材料等都有很大的困难。丁渭提出了一个综合解决的方案：在皇宫前的大街挖沟取土烧砖，解决砖料问题；放水入沟，用船运料，解决运输问题；再在竣工后将废砖碎瓦回填，修复大街，解决了清墟问题。这种统筹兼顾的施工方案便是一种系统工程的方法。但是，直到 20 世纪 40 年代，美国贝尔公司在发展通讯网络中，才开始正式成立系统工程机构，把工作划分为规划、研究、发展、工程应用、通用工程等阶段，算是正式建立了系统工程。1957 年第一本系统工程的专著出版。从 20 世纪 60 年代以来，由于尖端技术研制项目的需要，系统工程有了较快的发展，并逐渐渗透到了国民经济的各部门。1972 年成立了国际应用系统分析研究所 (**International Institute of Applied Systems Analysis, IIASA**)，许多国家共同研究环境、生态、能源等带有共性的问题，使得系统工程的研究和应用愈来愈广泛了。

由于实际需要的推动，工程经验的不断累积和总结，逐步形成了规律，更由于不断从有关学科汲取营养，系统工程学科就这样逐步建立起来了。

目前无论是在国内还是在国外，关于系统工程这门学科的体系和范围都还没有统一的想法。这是因为系统工程的理论与方法

是在工程设计规划、生产管理和控制工程这些方面的技术向纵深发展，相互渗透，产生了一些共同的问题，形成了一些带有共性的概念和方法的形势下发展起来的，从事不同专业的人对系统工程自然会有不同的理解；另一方面，系统工程要综合使用各种新的科学技术、理论和方法，因此，学科间的界限也很难划分。所以现在还很难给出一个众所公认的系统工程定义。这里列举一些国内外学术界的解释和看法，虽然不同的解释和看法有可能只是强调了某一个或几个侧面，但还是会有助于我们对系统工程总体概念的了解。

“系统工程学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、信息流动和控制机理等进行分析与设计的技术。”（1967年日本工业标准）

“系统工程学是应用科学知识设计和制造系统的一门特殊工程学。”（1969年美国质量管理学会系统工程委员会）

“系统工程是一门把已有的学科分支中的知识有效地组合起来用以解决综合性工程问题的技术。”（1974年大英百科全书）

“系统工程研究的是怎样选择工人和机器的最适宜的综合方式，以完成特定的目标。”（1975年美国百科全书）

“系统工程学研究由许多密切联系的元件组成的复杂系统的设计科学。设计该复杂系统时，应有明确的预定功能和目标，并使得各个组成元件之间以及元件与系统整体之间有机相连，使得系统总体能达到最优目标。但在设计时，要同时考虑到参与系统中人的因素与作用。”（1975年美国科学技术辞典）

“系统工程是一门研究复杂系统的设计、建立和运行的科学技术。”（1976年苏联大百科全书）

“系统工程学是为了综合由多个子系统构成的整体系统所具有的多种不同目标的相互之间的关系，以期系统功能达到最优，

并且最大限度地发挥系统组成部分的能力而发展起来的一门科学。”(1967年美国 H. Chestnut)

“系统工程的要点在于重视整个系统和它的生命周期。这两个概念相结合,为系统工程师提供了为实现整个系统,处理其综合规划、设计和管理问题而建立一个体制的基础。”(1980年美国 P. K. M Pherson)

“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。”(1971年日本寺野寿郎)

“系统工程与其他工程学不同之点在于它是跨越许多学科的科学,而且是填补这些学科边界空白的一种边缘学科。因为系统工程的目的是研制系统,而系统不仅涉及到工程学的领域,还涉及到社会、经济和政治等领域。为了适当解决这些领域内的问题,除了某些纵向技术之外,还需要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。也就是研制系统所需的思想、技术、方法和理论等体系化的问答。”(1977年日本三浦武雄)

“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方法。”(1978年钱学森、许国志、王寿云)

从上面的这些定义中我们可以看出系统工程的几个特点。首先,系统工程不同于机械工程、电子工程、化学工程等,它不以某一专门的技术领域(行业)为对象,而是跨越各专业领域(行业),研究各行各业中系统的开发、适用等问题,是适用于许多行业与领域的方法性学科。

第二个特点是系统工程不仅涉及工程系统,而且涉及社会经济、环境生态等非工程系统;不仅涉及技术因素,还涉及经济、社会甚至心理因素,所以,它的对象和应用不但涉及自然科学与

技术科学，还涉及社会科学，特别是需要把它们结合起来。

第三个特点是系统工程中的概念和原则是最本质的东西，数学方法和工具是为了更具体地说明概念和原则，为概念和原则的实际应用服务的。

第四个特点是系统工程从各门学科中吸收了许多有用的知识和工具，并且在解决自己的问题中综合运用这些工具。

我们总是希望系统能够最优地工作，因此要进行系统的优化。我们要在环境约束的条件下，通过可以控制的因素，使系统处于最优状态。对于大而复杂的系统，不能只是要求它的各个部分处于最优状态，而是要通过协调，使部分的功能与目标服从整体，达到总体的优化。

建立模型和进行优化，是系统工程的重要内容，也是按科学性的原则处理系统问题的主要工作。

综上所述，如果我们把处理系统工程问题的方法称为系统方法（或者把这种思想方法称为系统思路）的话，那么系统方法就是一种立足整体，统筹全局，使整体与部分辩证地统一，将分析和综合有机地结合，运用数学和电子计算机工具，来认识和处理系统的科学方法。

1.2 系统工程的应用

系统工程已经开始应用于以下领域，而且取得了显著的成效。这里介绍一些重要的领域。

(1) 市场销售：在广告预算和媒介的选择、竞争性定价、新产品开发、销售计划的制订等方面。如美国杜邦公司在 20 世纪 50 年代起就非常重视将系统的分析方法用于如何做好广告

工作，产品定价和新产品引入。通用电力公司对某些市场进行仿真研究。

(2) 生产计划：在总体计划方面主要是从总体上确定生产、存储和劳动力的配合等计划以适应波动的需求计划，主要用规划的方法和仿真的方法等。如巴基斯坦某一重型制造厂用规划的方法来安排生产，节省了 10% 的生产费用。此外还可以用于生产作业计划、日程表的编排等。此外，还有在合理下料、配料问题、物料管理等方面的应用。

(3) 库存管理：主要应用于多种物资库存量的管理，确定某些设备的能力或容量等。美国某机器制造公司应用存储论后，节约了 18% 的费用。目前国外的新动向是将库存理论与计算机的物资管理信息系统相结合，如 MRP (I , II) /ERP (**Material Resource Planning, MRP I ; Manufacture Resource Planning, MRP II ; Enterprise Resource Planning, ERP**) 系统软件。在应用上，如美国的西电公司，从 1971 年起，用了五年的时间建立了“西电物质管理系统”，使公司节省了大量的物质存储费用和运费，而且减少了管理人员。

(4) 运输问题：这里涉及到空运、水运、公路运输、铁路运输、管道运输、厂内运输。空运问题涉及飞行航班和飞机机组人员服务时间的安排等。水运有船舶航运计划、港口装卸设备的配置和船舶到港后的运行安排。公路运输除了汽车调度计划外，还有公路网络的设计和分析，市内公共汽车路线的选择和行车时刻表的安排，出租汽车的调度和停车场的设立。铁路运输方面的应用就更多了。

(5) 财政和会计：这里涉及预算、贷款、成本分析、定价、投资、证券管理、现金管理等。在系统工程的思想指导下，用得最多的方法是统计分析、数学规划、决策分析。此外，还有盈亏

平衡分析法、价值分析法等等。

(6) 人事管理：这里涉及到六个方面，首先是人员的获得和需求估计；第二是人才的开发，即进行教育训练；第三是人员的分配，主要是各种指派问题；第四是各类人员的合理利用问题；第五是人才的评价，其中有如何测定一个人对组织、社会的贡献；第六是工资和津贴的确定等。

(7) 设备维修、更新和可靠性、项目的选择和评价。

(8) 工程的优化设计：这在建筑、电子、光学、机械和化工等都有应用。

(9) 计算机和信息系统：可以运用系统工程的分析方法论，将运筹学的方法用于计算机的内存分配，研究不同排队规则对磁盘和磁鼓工作性能的影响。有人利用整数规划寻找满足一组需求文件的寻找次序，利用图论、数学规划等方法研究计算机信息系统的自动设计。

(10) 城市管理：这里有各种紧急服务系统的设计和运用。如救火站、救护车、警车等分布点的设立。美国曾用排队论的方法来确立纽约市紧急电话站的值班人数。加拿大曾研究一城市警车的配置和负责范围，出事后警车应走的路线等。此外，还有城市垃圾的清扫、搬运和处理，城市供水和污水处理系统的规范化等等。

除此以外，在下面的一些方面也有很成功的应用。如大型联合企业（钢铁、石油、化工等）的规划、设计、管理和综合自动化；矿山、油气田的开发规划和生产管理以及综合自动化；大型电力系统、热力网规划、设计、运行的控制；水源系统、城市供水、农田灌溉网的规划、管理、调度与自动控制；输油、输气管线系统的规划、设计、调度、管理与控制；大型科研与生产联合体的规划、设计、管理；通讯、电视、广播系统；导弹、卫星、

飞船、航天飞机的研制项目计划、管理与总体设计；军事指挥系统，全国或地区防御系统；国民经济计划的制定与管理；能源、水资源、其他资源的评价、开发与规划；城市建设与农村发展规划、管理；大型工程、科研项目的规划设计、组织管理；生态系统，环境保护与污染控制系统，环境监测网；消防、治安与保卫系统；海洋研究与开发系统；等等。随着生产和科学技术的发展，应用的范围还在不断地扩大。

在国外，系统工程成功的实例之一是阿波罗登月计划。这是一个规模十分庞大的研制项目。整个工程共有三百万个零部件，耗资 244 亿美元，共有两万多家企业参与，有一百二十多个大学和研究所参加研究工作，历时十一年，终于完成了计划。这个计划的成功，关键在于整个计划的组织管理和实施过程中，采用了系统工程的方法。

在我国，早在 60 年代的一些重大研制计划和管理中，就开始应用了系统工程的方法。近年来，在下面一些方面应用了系统工程的方法，推动了工作的进展，有些还取得了重大的成果，包括：全国和一些省市人口发展的预测和规划；全国能源需求的预测与开发的规划；大区电力系统发展的中、长期规划；一些地区和县的作物合理布局；一些流域的水资源综合开发和规划；大型钢铁、石油、化工企业的产品结构、加工方案的优化；一些地区的生态——经济系统的综合研究；大城市和工业区水资源合理利用以及污染的综合治理；大型水利工程的规划以及施工的计划管理；水利工程调度的综合自动化；铁路运输运量与流向的合理分配；地下铁道的行车自动化管理；城市公共交通的规划和调度的优化；机械加工厂生产计划调度的计算机管理系统；资源管理的计算机信息系统；人才培养、教育事业发展的预测与规划等等。

由于系统工程的高度综合性，所以参加这项工作的人，必定