

# 系统工程导论

天津科学技术出版社



# 系统工程导论

刘 豹 主编

天津科学技术出版社

## 内 容 提 要

本书从作者所熟悉的控制工程最优化和系统化观点出发,以浅显的文字,介绍了系统工程的最基本的概念、方法和原理,并举实例予以说明。全书分十一章,第一、二两章说明什么是系统工程和进行系统工程工作的大体步骤;第三章简介实现系统工程工作的工具——计算机和数据库系统;第四章介绍网络系统及其分析方法;第五章描述系统工程的基本工作之一——数学规划方法;第六章说明系统的状态空间分析方法;第七章重点叙述决策分析方法;第八章介绍预测技术;第九章简述了排队问题的分析方法;第十章专门讨论库存系统的分析;第十一章介绍了系统工程中常用的一些经济数学方法。以上各章分别由下列编者执笔:第一、二、六章——刘豹;第三章——寇纪淞;第四、五章——顾培亮;第七章——韩文秀;第八、九、十章——张世英;第十一章——许树柏。

本书可作为具有大专水平文化程度的工矿企业工程技术人员和管理干部以及事业单位的领导人员的继续教育材料,也可供大专院校系统工程、管理工程和企业管理等专业师生学习参考。

## 系统工程导论

刘 豹 主编

责任编辑:张炳祥

\*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道130号

天津新华印刷一厂印刷

新华书店天津发行所发行

\*

开本850×1168毫米 1/32 印张 14 字数 359,000

一九八七年一月第一版

一九八七年一月第一次印刷

印数: 1-6,000

书号: 15212·184 定价: 3.45元

ISBN 7-5308-0050-7/TP·2

# 目 录

序言	(1)
第一章 系统和系统工程	(7)
1-1 系统	(7)
1-2 系统工程	(10)
1-3 系统工程的科学基础和类别	(13)
1-4 系统工程的发展	(14)
参考资料	(16)
第二章 系统工程解决问题的类别、步骤和方法	(18)
2-1 系统工程能解决各类问题	(18)
2-2 系统工程解决各种问题的步骤	(37)
2-3 系统工程科学工作者该和谁打交道	(48)
2-4 发挥系统工程的作用应建立的机构	(51)
2-5 系统工程解决问题时所用的方法	(53)
参考资料	(56)
第三章 系统工程的计算工具	(58)
3-1 引言	(58)
3-2 数据库系统	(59)
3-3 计算机应用软件	(66)
参考资料	(71)
第四章 网络系统及其分析	(72)
4-1 引言	(72)

4-2	网络的评审技术 .....	(76)
4-3	网络流问题 .....	(97)
	参考资料 .....	(117)
<b>第五章</b>	<b>数学规划 .....</b>	<b>(118)</b>
5-1	引言 .....	(118)
5-2	线性规划 .....	(121)
5-3	整数规划 .....	(154)
5-4	非线性规划 .....	(165)
5-5	动态规划 .....	(178)
5-6	目的规划 .....	(188)
	参考资料 .....	(192)
<b>第六章</b>	<b>系统的状态空间分析 .....</b>	<b>(194)</b>
6-1	引言 .....	(194)
6-2	状态空间表达式及其求解 .....	(197)
6-3	用状态空间表达式描述某些社会经济系统 .....	(205)
6-4	最优控制问题 .....	(210)
	参考资料 .....	(212)
<b>第七章</b>	<b>决策分析 .....</b>	<b>(213)</b>
7-1	引言 .....	(213)
7-2	一般决策问题 .....	(216)
7-3	多目标决策问题 .....	(236)
7-4	对策问题 .....	(249)
	参考资料 .....	(258)
<b>第八章</b>	<b>预测技术 .....</b>	<b>(260)</b>
8-1	引言 .....	(260)

8-2	技术预测 .....	(261)
8-3	回归方法 .....	(264)
8-4	移动平均方法 .....	(292)
8-5	指数平均方法 .....	(297)
	参考资料 .....	(306)
<b>第九章 随机服务系统 (排队论) .....</b>		
9-1	引言 .....	(308)
9-2	随机服务系统的一些基本概念 .....	(309)
9-3	普阿松输入——指数服务分布的系统 .....	(317)
9-4	普阿松输入——定长与爱尔郎服务分布 系统 .....	(335)
	参考资料 .....	(339)
<b>第十章 存贮系统分析 .....</b>		
10-1	引言 .....	(340)
10-2	存贮理论的一些基本概念 .....	(340)
10-3	确定性存贮模型 .....	(342)
10-4	多阶段存贮问题 .....	(362)
10-5	随机性存贮模型 .....	(372)
	参考资料 .....	(380)
<b>第十一章 经济数学方法 .....</b>		
11-1	经济数学方法的对象、内容和意义 .....	(382)
11-2	经济计量方法 .....	(389)
11-3	投入产出分析 .....	(404)
11-4	经济控制论简介 .....	(431)
	参考资料 .....	(441)

## 序 言

四个现代化建设的宏伟目标，要靠科学技术来实现。用新工艺和新技术提高劳动生产率，降低物耗能耗；用新型管理方法来管理生产，实行质量控制，提高经济效益；用现代经管手段来经营企业，使产销结合，按需要安排一切生产，争取在最大程度上满足国家与人民需要；用现代预测技术与规划方法，预测将来的需求和市场变化，协调各部门的经济活动，做好国家、部门和地区的经济发展规划；用系统分析方法，对规划中拟建的大型工程和重点投资项目做可行性分析，以确保项目的顺利进行等，都要依靠进步的科学技术。

与新工艺和新技术同样重要的，是新的管理方法、现代化经管手段、现代化预测技术和规划方法、系统分析等等，而这一切都是属于系统工程范畴的科学技术方法。我们可以毫不夸张地说，实现我国四个现代化建设，在技术上要着重依靠系统工程技术。

1978年以来，为了在国内宣传和推广系统工程，有关专家和学者做了大量工作。在教育 and 科学普及方面，许多院校兴办了系统工程专业（大学班和研究生班），许多学会和单位举办了短训班，中央电视台还举办了系统工程电视讲座。在学术活动方面，除了有关学会（中国自动化学会和中国能源研究会）成立了系统工程专业委员会外，在1981年还专门成立了中国系统工程学会。1979—1981年，教育部系统还举办过多次校际系统工程学术交流会。1981—1982年举行的中美系统分析学术交流会（西安）、中美双边自动控制学术讨论会（上海）、中美能源、资源、环境学术讨论会（北京），在这一系列会上，都有系统工程的学术论文

交流。在科学研究工作上，以系统工程为主要技术方法的研究任务，遍及经济、环境保护、能源资源系统、军事部门、农业规划、生态系统、教育系统以及各类工程的最优规划和最优管理。在出版书刊方面，中国系统工程学会的中级刊物“系统工程理论与实践”已于1981年创刊。各教材出版机构已出版了不少不同专业的系统工程方面的教科书和参考书，有关学会也已或正在组织出版一批系统工程专业书籍。普及性书籍以中央电视台的系统工程讲座教材最为流行；中级读物目前出得最多，就系统工程引论、概论、导论一类书已不下七、八种；高级丛书则正在由系统工程学会出版编辑委员会筹划，待国内系统工程科学研究成果稍多，就会瓜熟蒂落，应时而生。

由于系统工程内容丰富、范围广阔，而且它又是由多种学科发展汇流而成的，致使人们对系统工程内容的范围的理解各有侧重。因此，我们这本属于中级读物水平的引论性的书，从作者所熟悉的控制工程最优化和系统化观点出发，对系统工程进行评述的书，还是有其出版价值的。

作为一本中级引论性读物，篇幅不宜过大。中级读物的意思是它能被具有一般大学文化水平的读者所接受。我们认为，即使是引论性读物，在介绍具体问题时也应当有一定深度，可以介绍一般的方法，使读者能理解这些方法，其中一些方法还可以被读者引用以解决具体问题。当然，作为引论性读物，更重要的是介绍全貌、基本内容和基本方法。我们就是本着这种认识编写这本书的。

本书各章主要内容如下。

第一章是关于系统工程的总论，着重介绍系统和系统工程的定义。为适合人们认识事物的习惯，编者主张不从定义出发而从实际出发说明问题。何况系统工程并非严格的数学，其本身也还没有严格的定义。说到系统工程所包含的内容，则多少有些因人而异。我们是“兼容派”，凡是从系统的角度以定量化方法（或



定量兼定性的方法)来研究的问题,都可以算作系统工程范畴内的问题。所以,无论是系统分析、现代化管理方法、软科学等等,都是系统工程的一部分。

第二章介绍用系统工程方法可以解决什么样的问题和解决问题时的重要步骤。编者也是从兼容派立场出发,提出系统工程不仅可以解决大系统的最优设计、最优控制和最优管理等问题,而且还可以解决大系统的评价、预测、计划、规划和分析等问题。在用系统工程方法解决这些问题时,大致的步骤不外乎明确课题、调查研究、建立数学模型、仿真分析、决策和反馈等几项。在这一章,作者还提醒系统工程工作者,要善于和共同工作者打交道,要从工作人员全体来考虑工作。用系统工程技术为我国四个现代化建设服务,要有一定的组织机构,作者就此问题提出了自己的见解。

第三章讨论了应用系统工程技术所必需的计算工具。用量化方法研究大系统问题,必然要靠大容量的计算机。计算机目前已是通用工具,无需再在本书多做介绍,但常被人们忽视的是数据库系统和应用软件。计算大系统问题,如做全国或地区能源规划,做地区或部门的投入产出分析……都必须建立相应的数据库系统,用以贮存有关数据,便于有关数据的检索、增删和修改。此外,我国目前计算机应用水平低,用户习惯于为具体问题自编程序,缺乏通用性,计算效率低,编程和调试耗费大量人力和机时。由计算机公司提供的应用软件则应用方便,省时省力,为广大用户所乐用。

第四章是网络系统及分析。网络是描述大多数系统的主要运动规律的一种形式,它以图论为基础,可以构成便于分析的数学模型。网络分析法在电路分析中是普遍应用的,在系统工程中,它是用来分析交通运输(公路、铁道、水运、航空)、物资交流(工厂生产、经济模型、货物产销)、能源供应(水源、煤气、油管、供热网)和信息流通(电话网络、信息系统)等的主要方

法。当然，限于篇幅，本章仅就网络分析中最主要的问题做了介绍。

第五章数学规划，它是系统工程的基础。数学规划，特别是其中的线性规划是目前系统工程中最通用的分析方法。把问题近似地看成是线性问题，宁可在精确度上稍有所失而在计算方便性上有所得，是线性规划方法通用的主要原因。对于大问题，可以用各种分解手段将大系统化成为若干子系统的组合，对各子系统逐个解算求优，亦以线性规划最相宜。我们说要从全系统的观点来分析问题，数学规划在解算大系统时，可以同时考虑问题的各种因素和约束而达到总体指标，这就兑现了全系统的观点。由线性规划派生出来的整数规划和目的规划则有专门用处。对于无法线性化的一些非线性问题，当然就必须用非线性规划来求系统的最优解。近来科学技术迅速发展，对许多事物的分析都要考虑时间因素，所以，动态分析问题已提上日程。动态规划是研究动态系统的数学规划，本章扼要地介绍了这些方面的材料。

第七章决策分析，是系统工程中研究决策过程的主要方法。目前已成为在系统工程中被研究得最多的分支之一。决策是用系统工程方法解决各类问题的最后关键，领导（问题的负责人）可按系统分析结果做出最后决策。做决策多少是带有主观性的，依靠决策分析方法可以帮助领导做出尽可能合适的决策。可以这样说，决策分析是决策科学，而决策人的经验、深思熟虑、决策手腕和背景材料，则构成决策人的决策艺术。一个好决策，特别是对于重大复杂事情的好决策，有赖于决策科学和决策艺术的结合。本章仅介绍几种基本的决策方法。

第八章预测技术，也是目前系统工程中发展较快的一种科学方法。作战犹如下棋，两军对峙，如一方能早知另一方的作战活动和客观环境变化，则该方就稳操胜券。商业竞争也是如此，能测准市场变化，则生意一定兴隆发达。

制定国家经济发展计划，必须预测全国人口发展和各类物资

的供需变化。预测技术对社会经济活动的各方面都极有用处。预测技术可以分为定量与定性两大类。定性法中的专家咨询法是对一些无法量化的事情的发展做预断的有效方法。定量预测方法近来发展较快。基本方法是用历史统计数据做回归分析和时间序列分析，从过去和现在推断将来对于工农业生产和人民对各种物品的需求预测，则可以构成计量经济模型和投入产出模型，做一些“如果……那么……”型分析，在保证一定条件下，就可以预断未来。在我国，经济预测和计划有密切关系。对社会经济系统做最优化规划，由此而得到的“如果……那么……”分析，就可以作为条件最优化预测，如果安排计划能逐步实现这些条件，最优化预测就变成了规划。本章仅就基本预测的教学方法做了简介。

第九章是排队论。对于受过排长队之苦的人们来说，是多么希望我们的一切服务部门领导，能用排队论方法来提高我们的服务质量。利用排队论可以用最少的设备和服务人员接待最多的顾客，这对一些服务事业来说都是很有有效的方法。

存贮系统分析是第十章的主题。多少年来，我们的工商企业，只怕缺少零配件和原材料而影响生产，相反的从不考虑积压资金的浪费，因而我们每一个部门、单位，几乎都有那么一个一定规模的小仓库，这种小农经济方式的生产，阻障了我国生产经营的发展。普及存贮系统分析方法，可以提高我国工商企业的库存管理水平，因而可以迅速改善整个企业的管理水平。

第十一章介绍了经济数学方法。这章包含经济计量方法、投入产出分析和经济控制论三部分。今天，系统工程研究的对象很大一部分是社会经济系统，因而，专门处理经济系统的教学方法必然属于系统工程的范畴。经济计量方法是通过建立经济计量模型（宏观模型和微观模型）来研究经济变量间相互关系的。投入产出分析则把国民经济划分为若干部门，研究这些部门间的相互依赖和制约关系。这种方法可以分析经济结构和经济政策，制订

经济发展规划。经济控制论则是研究经济活动的反馈作用和调节功能，以及对经济过程的控制规律，有助于拟定国家的经济策略。

系统工程内容是十分广博的。本书篇幅有限，不可能包括系统工程的全部内容，只是介绍了最基本的，可以起到引导读者了解系统工程作用的内容。系统工程对国内广大读者来说是新技术，对于本书编者来说也是新东西。主要原因是系统工程本身的理论、方法和应用不断发展，而我们总是落在它后面。因此，本书一定有很多缺点和错误，望海内专家和广大读者提出批评和指正。

**刘 豹**

# 第一章 系统和系统工程

## 1-1 系 统

系统工程研究的对象是系统。

系统这个概念，对每个人来说，似乎都很熟悉，但又很难对它下一个确切的定义。环顾四周，我们很容易找到属于系统的事和物。比如，屋里的暖气片，它和蒸汽管路，远处的暖气锅炉房等，构成了一个供暖系统。又比如，天津大学的自动化系，它和其他十几个系再加上教学处、科研处、行政处……等等机构，就形成了天津大学这一个教育系统。再比如这本《系统工程导论》，它是在几位作者共同讨论了编写提纲，规定了分工，由我们几个人制定和执行编写计划而成的，这个计划也是一个系统。上面三个例子说明，一个系统可以是物，是事，或事与物兼有。它们的共同点是都由若干部分组合而成，以共同完成一个总任务。它们是为了完成某一目的而组成的集合体，它们的功能表现在它们的整体性上。当然，它们的构成部分是互相有关的。用上面几个例子就可以为系统工程要研究的系统下一个定义：系统是为了实现某项目的而由若干部分组成的一个复杂整体。由此可见，下列一些系统都属于我们定义范围内的系统。

1. 工业系统 为了物质生产而构成的各种系统。如各种过程生产系统，包括各类石油化工厂的流程系统及其自动控制系统；各类网络系统，如电力输送网络系统，交通运输网络系统，输油输汽管线网络系统；各种机械加工系统，包括它们的控制管理系统，自动加工线和机械手……等等。

2. 管理系统 为了经营一个企业或管理一种事业而形成的一套工作制度、设备和机构。如各种经营管理系统，企业和银行管理

系统，计划——预测系统，信息检索系统，信息管理系统。信息管理系统实质上也是其他许多系统的基础，它的主要手段是计算机和数据库。

**3. 服务系统** 为了提高人民的生活水平和工作效率而构成的各种系统。例如车票、机票和旅馆的预定业务系统，银行的存取款自动化系统，邮政的自动分检系统，广播节目的自动编排播送系统，医院的病床管理和自动护理系统……等等。

**4. 军事系统** 为了保卫国家的安全而构成的各种系统。如作战指挥系统，武器研制系统，后勤保障系统……等等。

**5. 经济系统** 人类为了进行经济活动而形成的各种系统。如经济计划与管理系统，资源分配与开发系统，能源系统……等。

**6. 社会系统** 人类社会活动形成的各种系统。如教育系统，法制系统，行政系统……等。

以上只是人类社会中有系统中的一部分，它们都具有目的性、组织性和整体性。当然，在我们熟知的各种系统中，还有不少是不完全具有这三性的，特别是不具有“目的性”。如我们地球所在的太阳系，当然是一般意义下的系统，但我们无神论者说不出它有什么目的性。在我们的科学技术手段无力去改造、组织或控制太阳时，太阳系不能算是系统工程要研究的系统。比如生态系统，这也是自然界存在的一个大系统。它由地球上千千万万种生物构成，它们的生长、发育、繁殖，既和环境条件有关，又和它们相互间的生长程度有关，它们相互制约又协调进化。这种系统本身没有目的性，但自从人类社会的发展以后，人们的农业生产，特别是工业生产，对自然界的生态系统就有极大的影响。如果对这种系统不加以控制，将使能为人类利用的自然资源遭到破坏，使人类生活环境极度恶化。生态系统控制的一个例子，是四十年代美国大湖地区的七鳃鳗问题。湖中七鳃鳗迅速繁殖，将湖中一类主要鱼产品——鲟鱼大量吃掉，致使湖鲟又快速增长，使渔产遭到很大损失。经过研究，采取了控制措施，使七鳃鳗维

持在一定数量上，而鱒鱼和湖鲚产量都获得了好收成。从更大的范围来看，生态系统是和社会经济系统密切有关的。当前国际上存在的五大社会问题（粮食、人口、能源、自然资源利用和环境保护），都直接与生态系统有关。因而，我们就要用系统工程的方法来研究这类系统，并设法来控制它，使之向有利于人类社会的方向变化。这样，生态系统也就是我们说的一种系统了。

系统还可以从另一个便于构成模型的角度来分类，即系统有小系统和大系统之分。大系统是由（或可以认为是由）许多小系统组成的。有人对大系统的“大”做了一些解释，认为如果一个系统仅仅由于参与变化的变量数目众多，不能算大。因为从理论上说，只要计算机足够大和足够快，变量再多也是可以计算的，不存在“维”数的灾难（当然，实际运算时，维数的困难还是要考虑的）。只能是由于大而复杂，难以用常规办法解决才算真大。大系统的复杂，在此是指机构和关系的复杂，系统内部的信息交流复杂和集中控制困难而引起的分散控制的复杂。

系统有静态系统和动态系统。事实上，实际系统都是动态系统，所以我们赞成用控制论的方法来处理许多经济问题。当然，把一般可以用静态系统方法近似处理的问题，过分认真地当作动态系统来处理，在计算上要复杂得多。特别在经济大系统中，这种复杂性换来的精确性应该认真权衡，并决定取舍。这也是为什么目前线性规划方法常常是处理许多实际大系统最优化问题的普遍方法的原因。当然，这里也提出了一个要我们进一步研究简便实用的动态系统解算方法的课题。

系统有物理系统和事理系统<sup>[1]</sup>两大类。物理系统大家都都很熟悉，是由许多物理件组合而成的系统。自动控制理论研究的是这类系统的动态关系和控制问题。在世界上还有许多比物理系统更难研究的事理系统。比如雷达系统的有效搜索，排队拥挤现象，交通运输管理，企业经营，国民经济规划等等，都是事理系统。这些都是系统工程要加以研究的。

## 1-2 系统工程

系统工程是以系统为主要研究对象的工程技术。当然，这样来说明系统工程可能太泛指了。在1977年制订国家科学发展规划时，我们曾这样提过：“研究系统工程，是解决大系统的最优设计、最优控制和最优管理问题”。现在看来，这样说明系统工程，仍然是带了一些模糊性的。但是，由于系统工程是研究各种系统的一大类工程技术的总称，用这样多少带点模糊的概念来说明问题还是比较合适的。值得参考的是三浦武雄在1977年《现代系统工程学概论》一书中说的：“系统工程学与其它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科学。因为系统工程学的目的是研制系统，而系统不仅涉到工程学的领域，还涉及社会、经济和政治等领域，为了适当解决这些领域的问题，除了需要来些纵向技术以外，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学，亦即研制系统所需要的思想、技术、手法和理论等体系化的总称”。1978年钱学森在文汇报上发表的《组织管理的技术——系统工程》一文中指出：“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。……系统工程则是组织管理这种系统的规划、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。”

目前，常和系统工程相提并论的有系统分析、软科学、现代化管理科学等。

系统分析是由美国兰德（RAND）公司正式提出的，实质上可以说它是系统工程的一个组成部分。它是应用多种科学知识，在定量计算和分析的基础上结合成本效益，为选择具有特定目标的多种方案提供决策的一种方法。一般地说，系统分析工作



按下列五个步骤进行。

第一，问题构成（定义）首先要弄清楚要解决什么问题，其重点何在，范围多大，明确要达到的目标。

第二，收集数据（调查研究）构成问题之后，就应当拟定研究提纲和确定分析方法。然后再去收集有关资料和数据，找出其相互关系，求出解决问题的各种可行方案。

第三，建立模型，进行分析（评价）建立数学模型，用模型来观测每个可行方案的结果，以此评价这些方案。

第四，决策按模型所得各种方案的结果，比较其利弊得失和成本效益。再考虑各种无法由数量表示的政治、道德、传统习惯、士气等因素，综合评价，决定行动方针。

第五，验证核实通过实验，验证算法。

国际应用系统分析研究所IIASA (*Institute of International Applied Systems Analysis*) 对于“国际应用”和“系统分析”分别做了解释<sup>(2)</sup>。“国际应用”是指那些几个国家都感兴趣的问题，如环境污染、能源、城市、人口等问题。“系统分析”是尚在发展中的一门学科，更恰当地应当叫做一类科学技术。人们可以从系统分析得到各种科学技术的知识和办法，为各种需要而创造成果。系统分析也可以说成是帮助决策者，在不确定的条件下从许多行动方案中选取一种最合适的方案。系统分析一方面是强调帮助决策者，决策者可以是一个森林经营人，能源政策制订人或地区规划人员；另一方面是强调在评价决策时，要看得宽，即不只从一门学科来审查一个问题，而要研究决策的所有问题。

有人把系统分析归纳成解决一个问题中的六个W问题 (What? Why? When? Who? Where? How?)，即要干什么？为什么这样干？何时干？谁来干？在何处干？如何干？以台湾省

---

\* IIASA的正式英文名称应是 *International Institute of Applied Systems Analysis* 作者