

高等学校教材

# 系统工程引论

王众託 编



电子工业出版社

# 系统工程引论

王众託 编

电子工业出版社

## 内 容 简 介

本书是高等学校工科电子类自动控制专业“系统工程”课程的教材，也可供工科各类专业作为“系统工程”课程教材和干部、技术人员进修班、培训班教学与自修使用。全书包括绪论、系统工程的步骤与方法、系统的结构模型、静态模型与静态优化、动态模型与动态优化、决策方法、网络系统、随机服务系统和系统可靠性等内容，阐述了系统工程的基本概念和原则，以及常用的系统模型和优化方法。本书各章节可以按不同的要求和学生不同的基础，组成不同类型的教材结构或自学材料，以满足各种类型的要求。

### 系统工程引论

王众託 编

责任编辑：路石

电子工业出版社出版（北京市万寿路）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

山东电子工业印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：14 字数：323千字

1984年4月第1版 1984年6月第1次印刷

印数：0,001—11,000册 定价：2.05元

统一书号：15290·56

GF132/134

## 出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校无线电技术与信息系统、电磁场与微波技术、电子材料与固体器件、电子物理与器件、电子机械、计算机与自动控制，中等专业学校电子类专业、电子机械类专业共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构。并制定了一九八二到一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者，各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

## 前 言

本教材系由计算机与自动控制教材编审委员会自动控制编审小组评选审定并推荐出版的。

该教材由大连工学院王众託编写，华中工学院陈珽教授担任主审。编审者均是依据自动控制编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅的。

本课程的参考教学时数为 50~60 小时，对于非自控专业的其他工科专业及广大工程技术人员与管理干部的教学、培训和进修，可按需要和原来基础选择适合的内容，增减教学时数。

本教材是在第一轮教材《系统工程学》(国防工业出版社 1980 年版)的基础上编写、修订而成的。其主要内容为：系统工程的对象和内容；系统工程的工作步骤和方法；系统的结构模型及其建立方法；系统的静态模型与静态优化(以线性规划、非线性规划以及大型规划问题的分解协调概念为主)；系统的动态模型与动态优化(在控制理论的基础上着重讨论大系统建模、模型简化、动态优化，特别是动态递阶优化的思路)；系统分析中的某些决策方法；网络系统中某些问题的解法(包括作为时间网络的网络计划方法——统筹法)；随机服务系统的模型与分析方法；系统可靠性分析的基本方法。

参加本教材审阅工作的还有李牧安教授，邝硕与傅明辉老师。他们认真负责严密细致的工作，使编者得以改正许多错误与疏漏的地方，得到循循教益。在编写和试用过程中，编者还得到许多同志的指教，听取和采纳了国内多位专家学者的意见，并引用了他们的著作。编者藉此机会，向他们深致谢忱。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

一九八三年五月

# 目 录

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 绪 论 .....                       | ( 1 ) |
| § 0-1 系统和系统工程 .....             | ( 1 ) |
| § 0-2 系统工程的应用 .....             | ( 5 ) |
| § 0-3 工程学的学科体系 .....            | ( 6 ) |
| 第一章 系统工程的步骤和方法 .....            | ( 9 ) |
| § 1-1 系统工程的步骤 .....             | ( 9 ) |
| § 1-2 系统目的分析与确定 .....           | (12)  |
| § 1-3 预测方法 .....                | (13)  |
| § 1-4 系统模型建立、分析与优化 .....        | (16)  |
| § 1-5 系统的评价 .....               | (18)  |
| § 1-6 决策问题 .....                | (24)  |
| § 1-7 信息与信息方法 .....             | (29)  |
| 第二章 系统的结构模型 .....               | (33)  |
| § 2-1 结构模型的图形与矩阵表示 .....        | (33)  |
| § 2-2 系统结构模型的分解 .....           | (37)  |
| § 2-3 索引矩阵与出现矩阵 .....           | (44)  |
| § 2-4 结构模型的建立(一) .....          | (46)  |
| § 2-5 结构模型的建立(二) .....          | (50)  |
| 第三章 系统的静态模型与静态优化 .....          | (58)  |
| § 3-1 系统的静态模型 .....             | (58)  |
| § 3-2 系统的静态优化(一)——线性规划问题 .....  | (64)  |
| § 3-3 单纯形法 .....                | (70)  |
| § 3-4 线性规划中的对偶问题 .....          | (82)  |
| § 3-5 整数规划问题 .....              | (85)  |
| § 3-6 系统的静态优化(二)——非线性规划问题 ..... | (87)  |
| § 3-7 无约束优化的近似计算方法 .....        | (94)  |
| § 3-8 数学规划问题的分解与协调。递阶优化 .....   | (103) |
| 第四章 系统的动态模型与动态优化 .....          | (114) |
| § 4-1 系统的动态模型 .....             | (114) |
| § 4-2 系统动态模型举例 .....            | (117) |
| § 4-3 系统动态模型的简化 .....           | (124) |
| § 4-4 系统的动态分析与优化 .....          | (130) |
| § 4-5 大系统的动态递阶优化 .....          | (135) |
| 第五章 决策方法的某些问题 .....             | (143) |
| § 5-1 不定型决策问题 .....             | (143) |
| § 5-2 风险型决策问题 .....             | (146) |
| § 5-3 对策问题 .....                | (148) |

|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| § 5-4 多目标决策问题.....             | (155)        |
| <b>第六章 网络系统.....</b>           | <b>(161)</b> |
| § 6-1 最短路径问题.....              | (161)        |
| § 6-2 最大流问题.....               | (168)        |
| § 6-3 网络计划方法.....              | (172)        |
| <b>第七章 随机服务系统.....</b>         | <b>(180)</b> |
| § 7-1 引言.....                  | (180)        |
| § 7-2 生灭过程.....                | (184)        |
| § 7-3 无限队长、泊松输入、指数服务分布的系统..... | (186)        |
| § 7-4 有限队长、泊松输入、指数服务分布的系统..... | (192)        |
| § 7-5 泊松输入、一般服务分布的系统.....      | (194)        |
| <b>第八章 系统可靠性.....</b>          | <b>(197)</b> |
| § 8-1 可靠性的一些基本概念和定义.....       | (197)        |
| § 8-2 系统可靠性模型与可靠度计算.....       | (200)        |
| § 8-3 系统可靠性估计与分配.....          | (205)        |
| § 8-4 可维修系统的模型.....            | (210)        |
| § 8-5 几种可维修系统的可用性分析.....       | (212)        |
| <b>参考文献</b>                    |              |

# 绪 论

## § 0-1 系统和系统工程

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,通讯系统,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、生态影响等多方面来研究考虑。系统工程正是从整体上综合研究这些系统的结构和功能之共性的一门学科。

为了便于讨论系统工程的内容和特点,我们有必要对系统的概念和特征作一些介绍。

“系统”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象自动控制系统、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象呼吸系统、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、调度系统等等。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、包装、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一定规律结合成的、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,系统中的元素数目愈来愈多,一部电视机有  $10^3$  个元件,一架喷气式飞机有  $10^5$  个零件,宇宙飞船系统则有  $10^7$  个单元,大的城市系统有  $10^8$  个单元。

② 系统的各个组成部分之间是互相联系,互相制约的,系统这一特征称为系统的“关联性”,这种关联是有一定规律的。例如机械加工车间是由机床组成的,但一群机床并不等于一个车间,必须按生产工序把一定类型的机床组织起来,才能形成一个车间。

③ 系统总是具有特定功能的,特别是人所创造或改造的系统,总有一定的目的性,各



单元正是按这个目的组织起来的，人造系统的这一特征可称为它的“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、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”。

由于系统工程的研究对象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料、能量或信息，而系统也向环境输出物料、能量或信息。这些物料、能量或信息在系统中流动，形成物流、能流、信息流，并不断受到加工、变换和处理。例如在化学工厂中原料被加工成产品；在火力发电厂中燃料的化学能转换成热能，再转换成机械能并进一步转换为电能；一个计算机系统，能把原始数据信息加工处理，得出结果数据信息；一个领导机关，也是把下属单位的情况、汇报等信息拿来分析研究，形成决议指令等信息，这样的例子是很多的。

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

复杂的系统中是有反馈的。大而复杂的系统在空间或时间的划分上，又是分层次的。

各式各样的系统，都具有这样一些共性。系统工程正是要从这样一些侧面，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，已经开始摸索到一些系统工程的方法。公元前 250 年，我国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困难。丁渭提出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便是一种系统工程方法。但是，直到本世纪 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 60 年代以来，由于尖端技术研制项目的需要，系统工程有了较快发展，并逐渐渗透到国民经济各部门。1972 年成立了国际应用系统分析研究所，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。

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。

目前无论是在国内还是国外，关于系统工程这样的学科体系范围，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，产生了一些共同问题，形成了一些带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，供读者参考：

“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 JIS）。

“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的工程问题的技术”（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）。

“系统工程学是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，配合协调，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的人的因素与作用”（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）。

“系统工程学是为了研究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协调，以期系统功能达到最优，并最大限度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的概念。这两个概念相结合，为系统工程师提供了为实现整个系统、处理其中的规划、设计和管理问题而建立一个体制的基础”（1980年英国 P.K.M'pherson）。

“系统工程是为了合理的开发、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）。

“系统工程与其它工程学不同之处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。也就是研制系统所需的思想、技术、方法和理论等体系化的总称”（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）<sup>[0-1]</sup>。

从上面这些定义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、运用等问题，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，它的研究和应用不但涉及自然科学与技术科学，还涉及到社会科学，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。

既然系统工程是研究系统共性的跨行业的方法性学科，那末它研究和处理问题时要遵循哪些原则呢？一般说来，它应该遵循：

① 整体性原则：也就是说要把系统当作一个整体，不要见木不见林。古代人们把整个客观世界当作一个整体来研究，形成了许多朴素的辩证法思想，希腊哲学家亚里士多德就提出过“整体大于它的各部分的总和”的思想。但限于认识水平，这些思想还是笼统的，模糊的。随着近代科学的发展，用分析的方法来研究事物具有极其重要的作用。将对象分解为各个部分，分别加以研究，使人们能够更深入地了解对象的性质和结构。但这样也形成了从局部角度看整体，忽视各部分联系的缺点。现代的生产 and 科学技术以至于社会的发展，使我们所研究和解决的问题，都带有系统的性质，不能不从整体上、从相互联系上来处理。系统工程要求人们看问题首先从整体着眼，从全局到局部，并且从整体与部分的相互依赖、相互结合、相互制约的关系中了解系统的运动规律。“总体大于各部分的总和”不仅是一种量变，而且是一种质变，各部分组成系统后，形成了系统的整体性能，这是一种新的质。几个发电厂通过输电线联成电力系统，电力系统就不仅具备各电厂所具备的性能，而且还具备各电厂所不具备的性能，例如可以互为备用，可使水电、火电各自发挥它们的特长，可以采用各地负荷高峰错开的方法而节约设备容量等。我们对一个系统认识得深刻与否，建立一个系统是否成功，就在于我们对系统的整体性能把握得怎样。我们经常说要有全局观点，局部要服从整体，也正是从这一原则出发的。

除了空间上的整体性外，我们还要考虑时间上的整体性，也就是要考虑系统的整个生命周期。不但考虑近期，还要从长远着眼。

② 综合性原则：任何系统都具有多方面的属性，涉及到多方面的因素。一部机器，一个生产过程，既有技术性能和指标，又有经济指标。工业生产发展一方面向社会提供产品，另一方面也可能产生“三废”，对环境进行污染。任何一项措施，对自然、社会都有不同的影响。所谓综合性原则，就是要把这些属性、因素综合起来加以研究，不能顾此失彼，因小失大。此外，我们解决同一个问题，也可以有不同的途径和方案，需要多方面加以比较综合，作出选择。

科学技术发展到今天，在各门学科和领域内都出现了高度分化而又高度综合的发展趋势。许多新的产品（例如飞船登月舱），就其本身每一个部分来说都不是什么新的东西，但把它们有机地综合在一起，却成了具有新颖特色的整体，量的综合导致了质的飞跃。系统工程本身也正是综合了许多学科而建立起来的。

每一门专业学科，由于它研究范围的限制，常常只着眼于少数的一些属性和因素，专业技术人员在过于狭窄的专业训练下，容易忽视处理问题的综合性观点。在解决一个大型工程问题时，就需要各方面的专业人员在一起集思广益，大家用综合性原则来统一认识。

③ 科学性原则：在处理问题时，我们应该尽可能做到准确、严密。我们希望系统工程的工作是按照科学的顺序和步骤进行，环环相扣，并不断通过信息反馈加以检查改进；而且尽量使用定量方法。按照马克思的看法，一种科学只有成功地运用数学时，才

算达到了真正完善的地步。我们在系统分析中广泛使用建立模型、特别是数学模型的方法，通过对量的考察与分析，更准确地认识事物的质。系统在结构和功能上的共性，正是通过数学模型的相似表现出来的。电子计算机的发展又为运用数学方法提供了有效工具。

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。我们要在环境的约束下，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，不能只是要求它各部分处于最优状态，而是要通过协调，使部分的功能与目标服从整体，达到总体优化。

建立模型和进行优化，是系统工程工作的重要内容，也是按科学性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、运用数学方法和电子计算机工具，来认识和处理系统的科学方法。

## § 0-2 系统工程的应用

系统工程已经开始应用于下面这些领域：

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、热力网的规划、设计、运行控制；

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；

铁路、公路、航空、河运、海运、城市交通系统的规划、设计、管理、调度与综合自动化；

大型信息处理中心、数据通讯网；情报中心、图书资料档案自动检索和分类；

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、其它资源的评价、开发规划；

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。整个工程共有三百多万个零部件，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，采用了系统工程方法。

在我国，早在60年代的一些重大研制项目的计划和管理中，就开始应用系统工程方法。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：

- 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；
- 山西省能源基地建设的综合规划；
- 大区电力系统发展的中、长期规划；
- 一些地区 and 县的作物合理布局；
- 一些流域的水资源综合开发的规划；
- 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治理；
- 大型水利工程的规划以及施工的计划管理；水利工程运用的综合自动化；
- 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；物资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。

在我国社会主义现代化建设的进程中，必将有大量的工作需要用系统工程的思想和方法来推动。

由于系统工程的高度综合性，所以参加这项工作的，必定是由各行各业的专业人员组成的工作组。特别是随着系统规模的日益庞大，过去由一两个领导或者总工程师负责总管的全局性工作，现在也需要一个专门的班子从各个方面去了解情况，综合分析，作出决策，这个班子里有专业技术人员，也有系统工程师。一些规划、总体设计、技术管理部门的负责人，不仅应该是各自专业的行家，而且应该是懂得系统工程的人。现在国内外都有一些专门的机构，从事系统分析工作。这些机构中的人员主要是系统工程师和系统科学家。对于专门从事系统工程的技术人员，要求他们是“T”型人才。T字的一横象征广泛的知识，一竖象征某一个方面有所专长。此外，还需要他们具有开阔的眼界和强烈的责任感。“四面云山来眼底，万家忧乐到心头”，应该是系统工程工作者应有的视野和心胸。

### § 0-3 系统工程的学科体系

前面已经提到，系统工程是一门研究各类系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的跨学科的方法性学科。系统工程作为一门工程，把改造客观世界并取得实际效果作为自己的任务，这是它的实践性。它和某一行业的专门技术结合起来，形成了象能源系统工程、农业系统工程这样一些具体部门的系统工程学科。另一方面，它本身有自己的原理与方法（这类原理与方法对各行业都适用）。这包括系统工程所独具的概念、原则与思路（以上几方面国外有人称之为系统工程方法论），以及一些定量分析的工具。系统工程

学科的一个特点是它的工具和方法来自象运筹学 (Operations Research)、控制论 (Cybernetics)、信息科学 (Information Science, 包括计算机科学) 这些学科, 但又在博采众长之后, 按自己的需要加以综合运用, 在运用中发现不足之处又加以发展, 以充实自己的武库。

运筹学是四十年代以来, 由于组织军事行动与生产活动的需要而发展起来的一门技术科学。按它的一位创始人下的定义, 运筹学是“管理系统的人为获得关于系统运行的最优解而必须使用的一种科学方法”它使用许多数学工具(代数、分析、概率论、数理统计、图论、组合数学)和逻辑判断方法, 有时也使用带有一定实验性质的仿真方法, 来处理组织管理、规划调度中的问题。运筹学的具体内容包括线性规划论、非线性规划论、决策论、对策论、随机服务理论(排队论)、库存论、搜索论等。三十多年来, 这些理论与方法在处理一些具体的军事、经济、工程系统的规划、调度上收到了一定成效。方法也日臻成熟。

控制论是研究各种控制系统(包括机器、生物体和社会中的各种控制系统)的信息传递、变换、处理过程的共同规律的学科。它研究控制的共同属性、共同问题和共同方法。控制论应用于工程技术的分支——工程控制论是我们已经很熟悉的。控制论研究系统的动态分析、动态优化的方法, 它不仅适用于机器设备的控制(狭义的控制), 也适用于象管理、调度这一类广义的控制。

如果说运筹学目前处理的主要是系统的静态问题, 那末控制论处理的主要是系统的动态问题, 二者相辅相成, 互相渗透, 结合起来处理系统的分析与优化。尤其是近年来从控制理论和数学规划论发展起来的一些处理大系统的思路、理论和方法, 正在按系统分析的需要逐步完善和丰富, 用来解决复杂的大型系统问题。

系统工程中还应用了关于信息的采集、传输、检索、加工处理与利用的技术, 这些技术有的属于信息科学内容, 有的属于计算机科学技术内容。在有些国家, 把计算机科学技术也算在信息科学之内。我们不妨来研究一下人(或使用的机器)在认识和改造客观世界时的信息流动情况, 这种情况可以用图 0-1 来表示。我们从客观事物, 通过调查检测, 得到表述事物的数据; 数据经过处理, 选择其中有价值的构成信息; 根据所获得的信息和一定的准则, 作出决策, 采取行动; 对行动的结果进行测定与评价, 获得的是成果。在这个过程中, 信息流在起作用。由此可见, 处理系统工程问题时, 离不开信息的流通和变换, 因此系统工程要应用信息科学的原理、方法和工具。

上面这三门学科属于技术科学, 是作为系统工程的原理和方法的学科。按照工程技术、技术科学、基础科学这样的层次, 人



图 0-1

们自然会关心: 在基础科学的层次上, 什么是系统工程的基础呢?

数学无疑是基础之一, 上面说到的三门技术科学无一不用数学工具, 而系统工程有时不通过上述三门技术科学而直接应用了不少数学工具(特别是概率论与数理统计、图论、模糊集理论等)。可以说, 系统工程几乎和数学的每一个分支都有着或多或少的联系。

除了数学之外, 是否还有其它学科可以作为系统工程以及上述三门技术科学的基础

呢？

最近钱学森教授提出了建立“系统学”这样一门基础科学的建议。他认为除了要从运筹学、控制论等学科提炼一些原则和概念之外，还应该从象下面列举的一些理论中去寻找构筑材料：美籍奥地利生物学家 L. Bertalanffy 的一般系统论 (General System Theory)，其中有序性原则与开系统的概念是很重要的；比利时 I. Prigogine 的系统自组织理论 (Self-Organizing Theory of Systems, 系统自己走向有序结构)；德国物理学家 H. Haken 的协同学 (Synergetics, 开系统内子系统间的协调同步建立了局部与整体的关系，支配系统由无序到有序稳定发展) 理论；德国 M. Eigen 和 P. Schuster 的超循环 (Hypercycle) 理论 (生命现象包含的基层循环上的高层循环中，可以出现新陈代谢、繁殖、遗传变异等生命特征) 等。从上面可以看出，系统理论正在向高度复杂的生命现象进军。进一步发展必然是向社会现象以及人的思维过程进行探索，从深度和广度上开拓新的领域。

从工程科学、技术科学、基础科学这三个层次看来，系统工程的基础涉及的学科门类是非常多的，因此很难在一本专著或教材中全面而详尽地介绍所有内容。这本“系统工程引论”教材，只打算在有限的篇幅内介绍一些主要的内容，使读者掌握了这些内容后，再从广度和深度上继续研讨。

近年来，在国外常常使用“系统分析” (System Analysis) 这一名词，到目前为止这一名词也还没有众所公认的一致定义，但从它涉及的范围与内容来说，与系统工程所涉及的大体相同 (当然也有狭义的解释，例如苏联有人认为系统分析是在研究复杂系统时怎样在众多的方案中进行决策的学科)。对这一类跨学科的技术，出现这种不同称呼的情况是不足为怪的，我们不必拘泥于名词术语，而应着眼于工作的实质。有一点倒是大家看法一致的：所谓系统分析，并不局限于对那些大家已经公认的系统来进行分析，还应该对那些复杂的对象，能够独具慧眼，利用一整套系统思路，把它当作系统来加以分析研究，而这正是关于系统的科学技术的生命力所在。

# 第一章 系统工程的步骤和方法

系统工程工作的科学性，表现在工作要有一定的步骤和顺序，按计划分阶段进行。而各阶段的工作，又各有自己独特的方法。

本章将首先介绍几种在国外已经形成体系的系统工程步骤划分方法。当然，由于国情不同，我们不必完全照搬，但他们的原则还是值得参考借鉴的。然后陆续介绍各步骤、各阶段中的工作方法。这些方法有的只作一些原则和内容的叙述，有些则给出一些定量的关系。

本章的目的在于为系统工程在系统开发的全过程中的一些工作描绘一个轮廓，以便引导到后几章将要讨论的系统各类模型的建立、系统的分析和优化内容上去。

## § 1-1 系统工程的步骤

一个大型的系统，它的开发、建造和运用是分阶段按一定步骤进行的。根据多年来系统工程的实践，人们总结出一套套的工作步骤。下面将介绍几种划分阶段与步骤的方法，可供使用参考。

每个阶段和步骤的工作都必须以系统工程的基本方法为基础。所谓系统工程的基本方法，指的是应该把所研究的对象当作系统来分析，对分析结果加以综合后所产生的就是系统的设计，然后再对这个系统进行评价，如图1-1所示。这样反复进行，直到能有效地实现预定目的为止。

所谓分析(Analysis)，就是研究为使我们的目的能够最好地实现，应该如何构成系统。可以应用各种分析方法对系统进行模拟、计算，从而获得系统设计所必需的信息。在分析过程中，每次结果都要同制定的评价标准作比较，在考虑环境条件的情况下，按照比较后的差距反复进行分析，直到满足评价要求为止，然后转入综合。

所谓综合(synthesis)，就是根据分析与评价结果确定系统的构成方式和动作方式，作出系统的设计。设计最好能有多种方案，然后按评价标准从不同的观点和角度反复进行综合评价(Evaluation)，选出最优的设计，这种反复过程是一种反馈过程。

上面谈到的过程实际上可以分成三步：

1. 系统分析；
2. 系统设计；
3. 系统的综合评价；

如果我们把对系统的要求作为图1-1所示系统的输入，系统的设计作为输出，整个过程的进行可以用下面的框图中那些具体项目来说明。

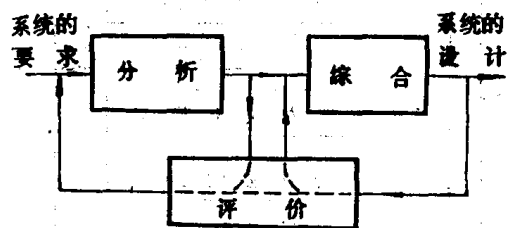


图 1-1



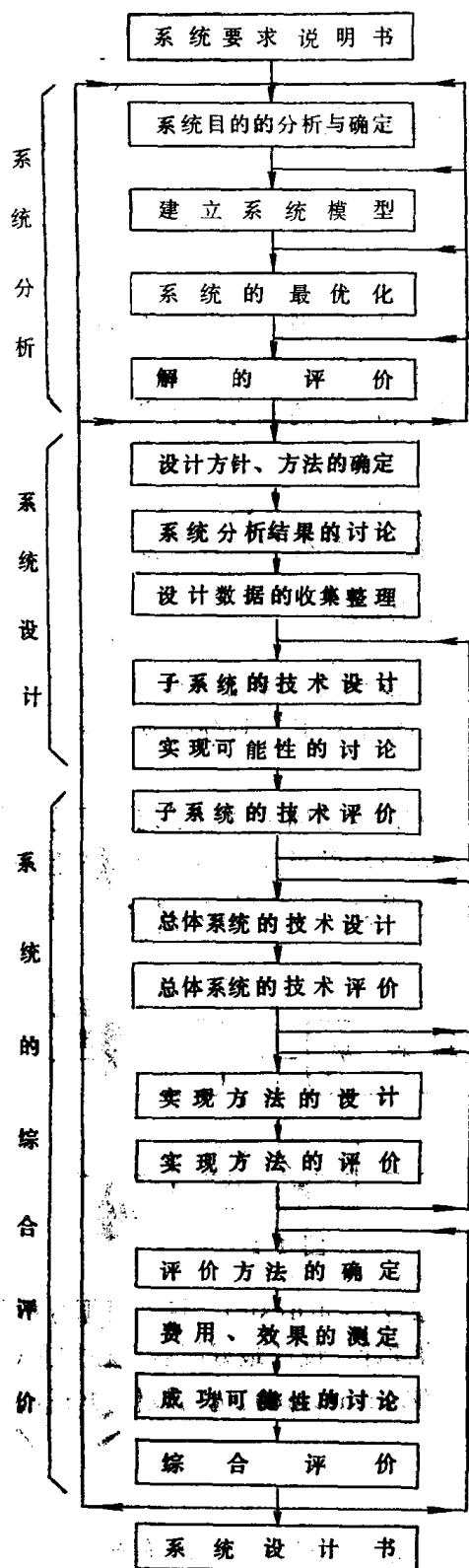


图 1-2

这个阶段的活动应该以系统的使用单位为主来组织进行。活动的主要内容是对将要开发的系统进行充分的调查，反复的研究，广泛的讨论，做到对目的、目标十分明确。

在系统分析的几项工作中，首先是选定系统的目的和功能，其次是建立模型，按不同方案建立的模型应用优化方法进行比较分析，得出解答后经过评价，得出最优解。

系统的设计先要确定方针方法，收集整理数据，然后先设计分系统(子系统)，再设计总体系统。

系统综合评价的目的在于从技术和经济两个方面对设计出来的各种方案进行评价，选择出技术先进、经济合理的方案。

评价的第一项工作是确定评价方法。评价方法根据对象的具体要求不同而有所不同，总的说来，要按原设计说明书与系统分析结果、费用、效果的测定方法、成功可能性的讨论方法、以及评价标准等确定，然后依次进行费用效果测定和成功可能性讨论，最后进行综合评价。

下面介绍在国外已经形成体系的几种系统工程的步骤划分方法。

第一种方法把系统工程的实现划分成三个阶段，每个阶段有的再分为前后两段：

1. 系统的开发阶段：
  - (1) 系统开发计划阶段；
  - (2) 系统开发实施阶段。
2. 系统的建造阶段：
  - (1) 系统实施设计阶段；
  - (2) 系统建造实施阶段。
3. 系统的运用阶段。

下面依次介绍各个阶段的目的、性质和具体工作内容。

#### 1. 系统的开发阶段：

这是第一个阶段。它的前一段是系统的开发计划阶段，其目的在于了解开发的对象，考虑有无开发的必要，制定开发计划方针和开发计划书。然后在这个基础上明确系统开发的目的、目标和要求。最后得出的成果是系统要求说明书和开发规划书。