

· 864148

邮电高等
学校教材

系统工程

毛厚高 编著

508

2070



人民邮电出版社

邮电高等学校教材

系 统 工 程

毛厚高 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书为邮电高等学校管理工程专业教材。全书共分六章，主要讲述系统模型和系统最优化技术、决策方法、网络计划方法及系统可靠性。

本书系统地介绍了系统工程的基本理论与应用。它的特点是系统性强，定性与定量分析兼顾，理论与实际并重。书中各部分均有结合企业（特别是邮电企业）管理的实例阐述系统优化的各种方法的应用，便于读者对基本理论和方法的理解与运用。书中各章后均附有习题，以备读者复习参考。

本书也可供通信部门或其它行业的企业管理人员和有关业务的技术人员学习参考。

邮 电 高 等 学 校 教 材

系 统 工 程

毛厚高 编著

责任编辑：刘兴航

人 民 邮 电 出 版 社 出 版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32

1988年12月第 一 版

印张：11 20/32页数：166

1988年12月河北第1次印刷

字数：266 千字

印数：1—4 500 册

ISBN7 115—03751—5/TN·167

定价：2.65 元

编者的话

本书是根据1985年邮电高等学校《邮电管理》教材编审委员会制订的出版规划，按邮电院校管理工程专业《系统工程》课程教学要求编写的。

本书在1982-1986年期间曾在北京邮电学院管理工程系本科班，大专班，研究生班以及有关院校作为教材试用过多次。书稿在征求邮电系统兄弟院校对本教材的试用情况和修改意见的基础上，又进一步作了修改和补充。

《系统工程》的内容，主要包括：系统模型、系统优化、系统决策、统筹方法以及系统可靠性等。

本书每章之后都附有习题，以便学习时复习选用。

本书与《运筹学》、《技术经济学》课程互有分工，其中如优化中的性规划，排队论部分由《运筹学》一书讲授，对策论、统筹法划归本书。

本书在编写过程中曾广泛征求管理工程系有关同志的意见，在此深表谢意。

目前我国邮电企业运用系统工程的思想和方法尚在起步阶段，许多内容还没有得到印证，加之作者水平所限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

一九八七年十二月

目 录

第一章 绪论	(1)
一、系统工程的形成与发展	(1)
二、系统工程的研究对象	(3)
三、工程系统的观点与方法	(9)
第二章 系统的模型技术	(13)
第一节 系统模型分类与模型化	(13)
一、模型的特征	(13)
二、模型的分类	(13)
三、建立模型的过程	(15)
四、系统的模型化	(16)
五、模型的修改与简化	(18)
第二节 系统的结构模型	(20)
一、结构模型的有向图与矩阵表达	(20)
二、可达性矩阵的划分	(26)
三、由可达性矩阵求骨干矩阵	(33)
四、解释结构模型法的应用	(42)
第三节 投入产出模型	(56)
一、投入产出综合平衡模型的基本结构	(56)
二、消耗构成的确定	(59)
三、举例	(61)
第四节 状态空间模型	(65)
一、系统的状态和状态变量	(65)
二、连续系统的状态空间表达式	(67)
三、状态空间模型的非唯一性	(71)
四、状态空间模型的应用	(73)

第五节 系统动力学模型	(75)
一、一阶负反馈回路	(75)
二、二阶负反馈回路	(78)
三、正反馈回路	(83)
四、相互联系的非线性反馈回路	(84)
习题	(95)
第三章 系统最优化技术	(98)
第一节 数学上的准备知识	(99)
第二节 解析最优化技术	(104)
一、微分法	(105)
二、拉格朗日乘数法	(107)
三、牛顿——拉夫森法	(111)
四、梯度法	(113)
五、共轭梯度法	(123)
第三节 直接最优化技术	(125)
一、一维搜索法	(126)
二、多维搜索法	(140)
第四节 大系统的最优化技术	(144)
习题	(161)
第四章 决策方法	(163)
第一节 概述	(163)
一、引论	(163)
二、确定型决策	(169)
三、非确定型决策	(169)
四、风险型决策	(172)
第二节 决策模型与分析方法	(173)
一、无试验的决策模型	(174)
二、有试验的决策模型	(182)
第三节 价值与效用(偏爱的量化)	(196)

一、价值与效用的概念	(197)
二、货币后果的效用	(200)
三、非货币后果的效用	(208)
第四节 多目标决策	(215)
一、引言	(215)
二、多目标决策问题的数学表述	(215)
三、多目标决策方案计划的精简	(216)
四、多目标决策问题的求解方法	(217)
五、多维比较法	(217)
六、一维比较法	(219)
七、举例	(225)
第五节 层次分析法	(228)
一、层次分析法的基本步骤	(228)
二、层次分析法的计算	(233)
三、层次分析法应用举例	(234)
第六节 有竞争对手的决策——对策	(238)
一、概述	(238)
二、二人有限零和对策	(239)
三、矩阵对策的求解	(246)
习题	(263)
第五章 网络计划方法	(266)
第一节 统筹法	(267)
一、网络图的组成	(267)
二、网络图的矩阵表述	(269)
三、网络图的绘制	(270)
四、网络图的时间参数和计算方法	(275)
五、网络图的分析与应用	(286)
第二节 网络计划方法的改进与发展	(296)
一、组合网络法	(296)

二、决策关键路线法.....	(300)
三、图解评审法GERT	(307)
习题.....	(317)
第六章 系统的可靠性	(319)
第一节 可靠性的特征量及数学表述.....	(319)
一、可靠性的定义.....	(319)
二、可靠性函数.....	(319)
三、失效规律.....	(322)
四、系统失效前的平均时间.....	(323)
第二节 系统结构.....	(325)
一、逻辑图.....	(325)
二、系统的结构与结构函数.....	(330)
三、结构的可靠度.....	(333)
第三节 系统可靠性参数的计算.....	(336)
一、串联系统.....	(336)
二、并联系统.....	(338)
三、 (k, n) 系统	(340)
四、等待系统.....	(344)
第四节 网络系统可靠度的计算.....	(345)
一、状态向量法.....	(345)
二、最小径算法.....	(346)
三、最小割算法.....	(348)
四、上下限法.....	(349)
第五节 系统可靠度的分配.....	(353)
一、平均分配法.....	(353)
二、加权分配法.....	(354)
三、动态规划分配法.....	(357)
习题.....	(363)

第一章 绪 论

系统工程 (Systems Engineering) 是一门综合性的技术科学, 也是一门科学的管理技术, 目前尚处在发展的阶段。我国的一些单位和部门已经把它应用于工程计划的协调平衡, 工业企业的经营管理, 人口控制计划以及军事装备规划等方面, 并已取得可喜的成绩。国外许多现代化的大工程、大企业的成就往往就是系统工程师们的杰作。

一、系统工程的形成与发展

系统的概念很早就被人们使用过, 但它不具有现代系统科学所赋予的含义。系统一词以及它所特有的思考方法, 从科学的角度看具有现代含义的最早引入者是 F·Taylor, 他在1911年发表的《科学的管理法》一书中提出了系统的概念。Taylor从合理安排工序, 提高工作效率入手研究了管理活动的行动和时间的关系, 探讨了管理科学的基本规律。到了20年代逐步形成为“工业工程”, 主要是研究生产在空间和时间上的管理技术。

40年代以后, 运筹学 (Operations Research) 进入管理领域, 50年代后期, 电子计算机投入使用, 运筹学扩大了计算机的应用范围, 为系统分析提供了方法, 从而产生了“系统工程”的概念。

1957年 H·Goode 和 R.E. Machol 出版了第一本以《系统工程》命名的书。但当时由于受到计算手段和方法的限制, 没有能被人们所普遍接受。

系统工程学在1960年左右开始形成了体系, 也可以说它是20世纪后半叶产生的新学科。

1961年—1972年美国阿波罗登月计划的实施成功是系统工程学

的一大成果。这个计划历时11年，涉及42万科技人员，三万多家公司和工厂，120所大学，300多万个零部件，耗费300多亿美元。它引起了人们对系统工程的广泛关心和注意。

从发展的过程来看，系统工程是在工业工程(Industrial Engineering)、质量管理(Quality Control)、工效学(Ergonomics)、运筹学(Operation Research)、价值工程(Value Engineering)、软科学(Soft Science)和管理科学(Management Science)等管理技术发展的基础上逐渐形成的。在60年代初期，它在溶合了这些管理技术的基础上，作为一门综合的管理技术而产生了。图1-1表明了这些学科的经济技术水平和产生的年代。

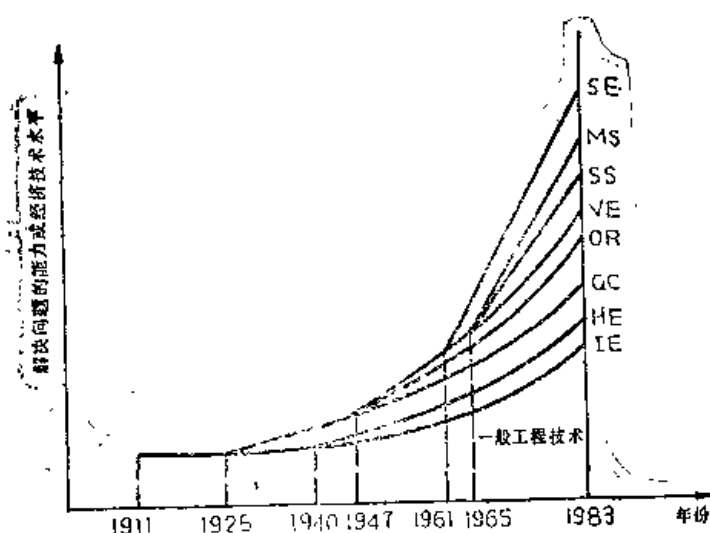


图 1-1 管理技术的发展与系统工程的关系

(1) 工业工程(IE)重点在提高生产效率，主要解决时间定额和进度计划。

(2) 质量管理(QC)是在产品研制阶段就开始考虑保证质量的一门技术。

(3) 工效学(HE)在美国有人称为人体工程学(Human Engineering)，主要应用于作业管理，解决人与机器设备和环境的关系，

对提高劳动效率，减轻疲劳，安全生产以及提高产品质量都有效果。

(4)运筹学(OR)解决系统的最优规划和对策的技术，其基本体系是按方法来分类而不按问题来分类，一般称为狭义的系统工程。

(5)价值工程(VE)是在确保达到产品的必要功能的前提下，以最低的寿命周期成本来实现产品生产和提高产品价值的技术。

(6)软科学(SS)主要研究解决环境、交通、医疗等社会问题的规划、运行和管理。目前事实上已并入系统工程的范畴。

(7)管理科学(MS)是综合前述各学科的精华而产生的一门新兴学科。它与系统工程重点解决大规模复杂系统的动态决策、开发，设计或改进等不同，管理科学侧重较小系统的管理或决策技术。这就是说前者重在宏观，后者重在微观。此外管理科学原则上属于软科学的纵深发展，而系统工程则综合考虑了系统的软硬件两部分。

二、系统工程的研究对象

系统工程顾名思义是以系统作为对象的工程学。它与一般工程学，如机械工程、电机工程、土木工程、水利工程等不同，它们都有它自己特定的物的对象，而系统工程则不能把它的对象限定在某一特定的范围内。我们把极其复杂的工作对象称为“系统”。

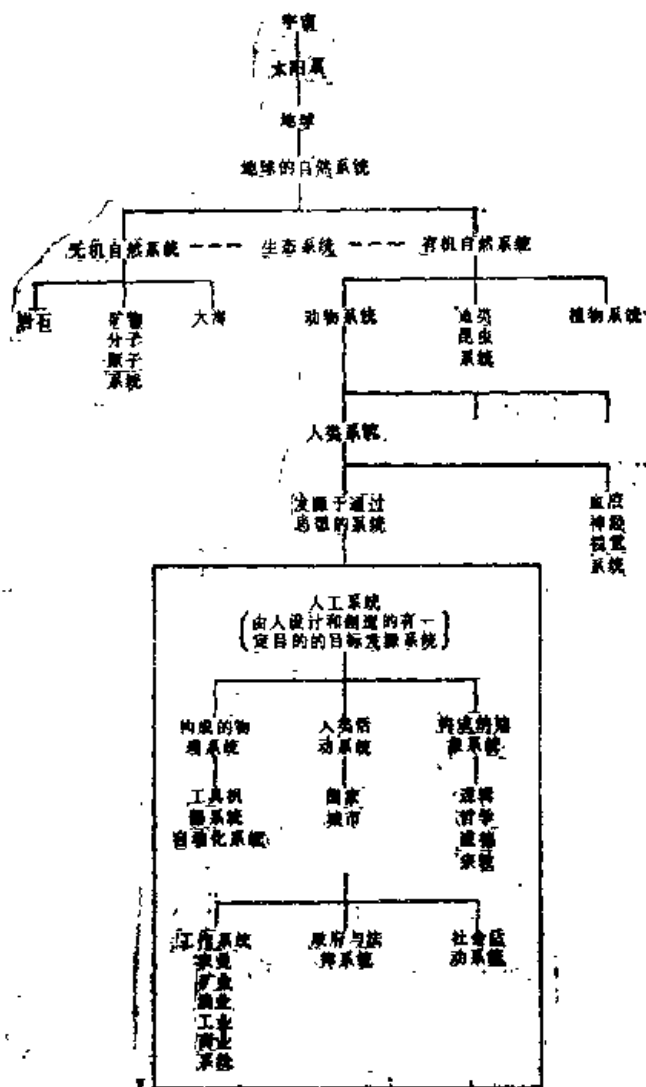
1. 系统的定义

系统的定义很多，现在比较一致公认的是：系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体。这个系统可以由许多小的子系统组成，而它本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。

2. 系统的各种形态与分类

在自然界和人类社会中，系统是普遍存在的。为了研究系统的

性质，明确各种系统的特点以及它们之间的关系，必须了解系统存在的各种形态。自然与人工系统的关系可以概略地归纳如下：



人工系统存在于自然系统的范围之内，了解这一点是很重要的，因为归根到底人工系统无法避免受自然系统的限制。

系统形态可以作如下的分类：

(1) 自然系统与人工系统 自然系统是由自然物组成的系统，

它的特点是自然形成的。它是人工系统的基础，也是构成自然环境系统的主要内容。

人工系统是为了达到人类所需求的目的，由人工生成的系统。

(2) 实体系统与概念系统 实体系统是指由物质实体组成的系统，例如机械、能源、矿物、通信网等所组成的系统，它以硬件为主体。概念系统是由非物质实体，例如概念、原理、方法、制度等所组成的系统，它以软件为主体，为实体系统提供服务。实体系统与概念系统是相互依存而不可分割的。例如邮电通信网路是实体系统，而用来调度电路的业务领导制度就是概念系统，其它如定期测试、大修理制度等也都属于概念系统。

(3) 静态系统与动态系统 其固有状态不随时间改变的系统称为静态系统，它属于实体系统，是动态系统的基础。例如长途交换室的布置系统，机房布置等等。状态随时间改变的系统称为动态系统，它是实体系统加上概念系统的配合而构成的活系统。一般需要人的干预。在实际工作中，分析和研究动态系统是系统工程的主要工作。

(4) 闭环系统与开环系统 从系统的构成形态上，可将系统分成闭环系统和开环系统，这主要是从系统对外部环境有没有交换关系来说的。当某一系统与环境无关时，称此系统是闭环系统，如静态系统和没有投入使用的其它技术系统。当系统与环境有相互关系时，称此系统为开环系统。它从环境输入，向环境输出，系统的状态受环境变化的影响，大部分的人工系统都属于开环系统。

除了以上所列的各种系统形态外，还有按对象区分的对象系统；输出完全取决于输入的因果系统；按预定目标行动的目的系统以及有控制功能和手段的控制系统等系统形态。

3. 系统的特征

作为一个系统，它应该具备以下的几个特征：

(1) 集合性 把具有某种属性的对象看作一个整体便构成一个

集合。集合里的各个对象称为单元（或元素）。系统的集合性是说系统至少是由两个或两个以上可以互相区别的单元所组成。例如一个最简单的信息传递系统应该包括发信设备、通信线路和收信设备。

（2）相关性 组成系统的单元是相互连系、相互作用的。集合性只说明系统中应具有若干个相互区别的单元，它们之间的关系则没有说。而相关性则说明这些单元之间的关系。系统中只有单元，而单元之间没有任何关系，则它们仍然不能成为系统。如上例中发信设备是把要发的信息转换为电流信号的，通信线路则是把电流信号从发方传递到收方的。收信设备则是把线路上传来的电流信号还原成为原来发方的信息。只有这三者密切配合，完成所要求的任务时，信息传递系统才能成立。

（3）目的性 人工系统都具有目的性。建造一个系统必须具有明确的目的。没有明确目的的系统是不应该存在的。这在系统设计中是非常重要的一个问题。例如企业的经营系统，在限定的资源和现有的职能机构的配合下，它的目的可能是完成国家计划，达到规定的质量指标，满足社会的需要等等。

（4）整体性 这是说，具有独立功能的系统单元和单元间的相互联系只能逻辑地统一和协调于系统的整体之中。也就是说，任何一个单元不能离开整体去研究；单元间的联系和作用也不能脱离整体的协调去考虑。脱离了整体性，单元的机能和单元间的作用便失去了意义。研究任何事物的单独部分不能得出有关整体的结论。系统的单元和单元的机能，单元的相互联系要服从系统的整体的目的要求，要服从整体的功能。在整体功能的基础上展开各单元及相互之间的活动，这个活动的总和形成了系统整体的有机行动，这就是系统的功能应具有的整体性。

（5）环境适应性 任何一个系统都处于一定的物质环境之中，因此它必然要与外部环境产生物质的、能量的和信息的交换，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。一个企业必须经常了解其它同类型企业的动向，有关行业的动向，国家、用户和外贸的要求，市场的需要等环境变化，并从许多经营方案中选取最优的决策方案，以适应环境的变化，否则它就不能生存。

系统工程所以能解决很多问题，取得最佳的效果，其最基本的东西也恰恰是寓于这五个特征之中。因为按照这五个特征所建立起来的系统是合理的、完整的、科学的。

目的性的分析首先解决系统有无存在价值的问题。进而明确系统建立的目的，从而去除盲目性，减少与系统目的无关的各种浪费。目的性分析的结果明确了系统的功能。

集合性分析解决系统的组成及其合理性，分析后得到的组成将是既无多余，亦无不足。

通过相关性的分析可以明确组成部分之间的合理关系，从而扫除相互间的盲目联系和无效行动。

以上两者是解决系统结构建立的合理性问题。

整体性分析是用来解决整体与局部的关系问题，使之达到合理，减少内部摩擦，集中加强了系统的整体功能。

环境适应性是使系统与外部更大的系统（环境）之间的关系达到合理，从而使系统具有生命力。

以上两者是解决协调问题，前者解决系统内部的协调，后者解决与外部关系的协调。

系统分析是否有效，系统设计是否成功，这五个分析是很基本的。其它有关系统工程的具体方法如系统模拟，最优化方法及系统的评价，都是在这个基础上展开的。

4. 系统工程的定义

在基本上了解了“系统”概念的基础上，便可以讨论系统工程的定义。到目前为止，国外或国内对系统工程的解释仍然是众说纷

织，对系统工程的定义从不同角度有不同的理解，要想简单地下一个定义是比较困难的。

系统工程是研究系统的工程技术，它不是内容单一的技术，而是具有多门学科的工程技术，它横跨了自然科学和社会科学。系统工程着眼于整体的状态和过程，而不拘泥于局部的、个别的部分，它表现出系统的最佳途径并不需要所有子系统都是最佳的特征。系统工程包含着深刻的社会性，涉及到组织策略、管理、教育等某些上层因素，因而所研究的一些基本关系往往不能简单地用数学公式来表示，而是着重于概念或原则的表达，这些概念或原则再进一步由各种科学方法来确定。

用定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，如水利工程、机械工程、土木工程、电力工程等等。如果这个特定的目的是系统的组织建立或系统的经营管理，就可以统统看成是系统工程。有人把运筹学、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都用系统的概念统一归入系统工程；有人又把运筹学、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统一地看成是运筹学。

现在来看看有关系统工程的定义。

①系统工程是当代正在发展和完善的一门工程技术。它以系统为对象，把要研究和管理的事与物用概率、统计、运筹和模拟等方法，经过分析、判断、推理等程序建立起某种系统模型，进而采取最优化的方法以求得系统的最佳结果。这就是经过工程过程使系统的各个组成部分互相协调，互相配合以获得技术上先进，经济上合算，运行时可靠和时间上最省的工程结果。

②系统工程就是在创造新系统或改造老系统时是按照系统的观点和方法，采取最合理、最有效和最优的措施和手段进行制造、设计、开发、运用，是一门综合性或边缘性的工程科学。

③系统工程是用系统科学的观点，控制论、信息论、经济管理科学、现代数学的最优化方法，电子计算机及其它有关的工程技术，溶合渗透而成的一门综合性的管理工程技术。

还可以列出很多，这是由于从不同的角度去看待系统工程，因此可以下各种不同的定义。

• 三、系统工程的观点与方法

前面在系统工程的定义中提到系统工程要求按照系统的观点和方法来观察事物，进行工作。

1. 系统工程的观点

系统工程最基本的观点可以归纳为以下四个：

(1)全局观点 要把系统及其环境作为整体来研究；

(2)层次观点 系统的空间结构有轻重主次之分，在不忽略次要成份的前提下，抓主要矛盾；

(3)价值观点 要考虑系统的整体社会价值，要权衡利弊，确定出经得起时间考验的价值标准；

(4)策略观点 策略意味着果断、灵活、节约、巧干和因地制宜。注重调查统计，开发信息资源，疏通信息渠道，加强控制环节，避开可能风险、协调关键因素、综合利用和治理等都是系统工程常用的策略思想。

2. 系统工程的方法论

自六十年代以来，许多学者对系统工程的方法进行了很多的探讨工作，企图找到一种能够处理所有问题的标准方法，但是这种想法是不现实的，也是不可能的。但实践证明，尽管没有这样一种通用的标准方法，总还可以找到一种能适应各种不同问题求解的方法思路——方法结构。这样的方法结构中，影响最大而且比较完善的是美国A.D.Hall所提出的三维结构，如图1-2所示。它概括地表示

• • •