

Gongcheng Xitong Fenxi

工程系统分析

宋吉荣 • 主编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

N945/22

2007

西南交通大学出版基金资助

工 程 系 统 分 析

宋吉荣 主编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书把系统分析的基本理论和方法应用于工程系统,结合实际重点探讨了工程系统的运筹学模型和数学方法的应用。主要内容包括:系统、系统分析的基本概念,系统规划技术、图与网络计划技术、系统决策技术等领域相关运筹学模型的建立、分析及求解方法等,并且在各章例举了应用实例。

本书可作为工程施工及管理部门、工程咨询机构的职工培训教材,也可作为大专院校工程类专业的教学用书,还可作为工程管理研究与教学人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程系统分析 / 宋吉荣主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2007.11

ISBN 978-7-81104-554-3

I. 工… II. 宋… III. 系统分析 IV. N94

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第172786号

工程系统分析

宋吉荣 主编

*

责任编辑 万 方

特邀编辑 尹作华

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 14.75

字数: 368 千字

2007年11月第1版 2007年11月第1次印刷

ISBN 978-7-81104-554-3

定价: 23.00 元

图书如有印装问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

系统工程是一门组织管理的技术，是关于生产、建设、商业、科学研究以及人类其他活动的规划、组织、协调和控制的科学原理和方法。系统分析，从广义上讲，可看做系统工程的同义语；从狭义上理解，则是系统工程的一个逻辑步骤。具体地说，就是利用科学的分析工具和方法，分析和确定系统的目的、功能、环境、费用与效益等问题，抓住系统中需要决策的若干关键问题，根据其性质和要求，在充分调查研究和掌握可靠信息资料的基础上，确定系统目标，提出实现目标的若干可行方案，通过建模仿真试验，优化分析和综合评价，最后整理出完整、正确、可行的综合资料，从而为决策提供充分依据。这个步骤是系统的中心部分，贯穿于系统工程的全过程。运筹学是 20 世纪三四十年代发展起来的一门学科，其解决问题的方法是通过建立科学的系统模型，结合对机会和风险的估算，对可供选择的各种方案、战略进行分析，对可能的结果做出预测，并进行相应的比较，进而帮助管理者科学地进行决策。系统分析正是以运筹学为基础和核心的。运筹学与系统论、信息论、控制论（简称“三论”）以及概率论与数理统计、数量经济学、技术经济学等方法共同构成系统科学的重要理论基础及工具。

工程系统分析是工程项目管理与系统工程两门学科的交叉性边缘学科。它把系统分析的基本理论和方法，应用到工程领域，对于促进工程管理事业的发展有着重要的现实意义。因此，它是工程类专业本、专科生和研究生层次的一门重要主干课程。

本书从未来工程施工及工程管理人才应具备的系统分析知识、能力出发，介绍了系统、系统工程、系统分析基本理论，重点讲解了运筹学中的线性规划、非线性规划、目标规划、动态规划等系统规划技术、图与网络计划技术以及一些常用的系统决策技术。在内容上，力求阐明概念和方法的经济和工程含义，并用较多的例题演练各类模型的建立及其在工程管理中的应用。

本书由西南交通大学宋吉荣担任主编，并与四川大学钟胜共同承担了大纲的拟定和全书的统稿工作。全书编写的分工如下：宋吉荣独立编写了第 3、4 章，与孟鹏辉合写了第 2 章，与黄云德合写了第 6 章，与孟鹏辉、朱文斌合写了第 7 章，其余的第 1、5、8、9 章由四川大学钟胜独立编写。西南交通大学胡建伟对全书进行了审阅。

由于时间仓促和水平所限，本书难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

2007 年 10 月

目 录

I 引 论

第1章 绪 论	1
1.1 系统与系统分析	1
1.2 系统分析中的定量技术	7
1.3 工程系统分析概述	10
练习题	15

II 系统规划技术

第2章 线性规划	16
2.1 线性规划和单纯形法	16
2.2 线性规划的对偶理论	31
2.3 线性规划的应用	50
练习题	70
第3章 非线性规划	76
3.1 基本概念	76
3.2 无约束极值问题	80
3.3 约束极值问题	88
练习题	96
第4章 目标规划	98
4.1 目标规划模型的建立	98
4.2 线性目标规划问题的图解法	100
4.3 线性目标规划问题的单纯形法	101
4.4 线性规划 (LP) 与线性目标规划 (LGP)	106
练习题	109
第5章 动态规划	110
5.1 动态规划的基本概念	110
5.2 动态规划最优性原理与基本方程	113
5.3 动态规划应用举例	116
练习题	122

III 图与网络计划技术

第6章 图与网络基础	124
6.1 有关图的基本知识	124
6.2 路径问题	129
6.3 网络流问题	141
练习题	153
第7章 网络计划技术	155
7.1 前 言	155
7.2 网络计划的类别	157
7.3 工作的表达与网络图的画法	159
7.4 时间参数计算与关键线路确定	164
7.5 资源优化	170
7.6 工期-成本优化	180
7.7 单代号搭接网络技术	186
7.8 最优施工顺序问题	192
练习题	196

IV 系统决策与评价

第8章 不确定性决策	199
8.1 决策的基本概念	199
8.2 风险决策	202
8.3 不确定型决策	209
练习题	213
第9章 系统评价方法	216
9.1 系统评价原理	216
9.2 关联矩阵法	218
9.3 层次分析法	222
9.4 模糊综合评价法	226
参考文献	230

I 引 论

第 1 章 绪 论

1.1 系统与系统分析

1.1.1 系统的概念与特征

系统一词最早出现在古希腊唯物主义者德谟克利特（约公元前 540 年至公元前 480 年）的一本没有流传下来的著作《宇宙大系统》。其原意是指事物中共性部分和每一事物应占据的位置，即部分组成的整体的意思。就中文字面意义来讲：“系”是指关系、联系；“统”是指有机统一；二者组成“系统”，则是指有机联系与统一的意思。

系统一词真正被广泛使用并被作为一个重要的科学概念加以研究，则是 20 世纪 40 年代以后的事情，其内涵也在不断发展、完善并逐渐趋于统一。

1.1.1.1 系统的定义

关于系统的定义，一般系统理论创始人冯·贝塔朗费（L. V. Bertalanffy）将其定义为“相互作用的诸要素的综合体”。美国韦氏大辞典将系统解释为“有组织的或被组织化的整体，被组合化的整体所形成的各种概念和原理的综合，以有规则的相互作用、相互依赖形式组成的诸要素的集合”。著名学者阿科夫（R. L. Ackoff）认为“系统是由两个或两个以上相互联系的任何种类的要素所构成的集合”。我国著名科学家钱学森教授则主张把“极其复杂的研究对象称为系统，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”。

基于上述定义可知，系统构成需具备三个条件：一是系统必须由两个或两个以上的要素组成，要素是构成系统的最基本单位，也是系统存在的基础；二是要素与要素之间存在着一一定的有机联系，从而在系统的内部和外部形成一定的结构或秩序，任何一个系统又是它所从

属的一个更大系统的组成要素；三是任何系统都有特定的功能，这种功能是由系统内部要素的有机联系和结构所决定的，是整体具有的不同于各个组成要素的新功能。

1.1.1.2 系统的特性

明确系统的特性是人们认识、研究和掌握系统思想的关键。一般地，系统都具有以下特性：

(1) 集合性

系统都是由两个或两个以上可识别的要素所组成的。

(2) 相关性

组成系统的要素是相互联系、相互依赖、相互制约和相互作用的；系统中某一要素发生了变化，则其他相关联的要素也将相应调整，以保持系统状态的优化。

(3) 层次性

由于系统的各个组成要素在系统中所处的地位不同，从而形成了不同层次。这种层次结构决定了系统内物质、能量和信息的流动，从而使系统能够作为一个整体发挥较高的功能和效率。

(4) 整体性

系统是由两个或两个以上要素所组成的具有特定功能的整体，其独特功能是由系统整体决定的，而不是各组成要素功能的简单叠加。另一方面，任何一个要素也不能离开整体去研究，离开了系统整体，要素间的联系和作用将失去原有的意义。

(5) 目的性

任何系统都是由两个或两个以上要素根据特定目的而组成的整体，每个要素在系统总目的的指导下，协同配合，分工合作，在达成各要素自身目的的同时实现系统总目的。

(6) 环境适应性

任何一个系统总处于特定的环境之中并与环境不断地进行物质、能量、信息的交换。系统离不开环境，而且必须适应环境的变化，否则系统将不能继续存在。

1.1.2 系统分析的概念与作用

1.1.2.1 系统分析的诞生

系统分析是从运筹学中派生出来，最早由美国兰德公司在第二次世界大战结束前后提出并加以使用的一门实用科学。1945年，美国的道格拉斯飞机公司，组织了各个学科领域的科技专家为美国空军研究“洲际战争”问题，目的是为空军提供关于技术和设备方面的建议，当时称为“研究与开发”(Research and Development, 缩写为 R & D) 计划。1948年5月，执行该计划的部门从道格拉斯公司独立出来，成立了兰德公司，“兰德”(RAND) 是“研究与开发”英文的缩写。兰德公司在其研究工作中发现，当时的运筹学方法所能解决的问题通常是局部的、短期的、相对确定的情况下的方案选优问题，一旦遇到复杂、不确定因素较多的问题，或者关系到全局的问题，其应用就会受到一定的限制。为此，兰德公司组织有关专家研制了一种新的分析方法，以适应研究需要，称为系统分析。

从20世纪40年代末到20世纪70年代的30年中，系统分析沿着两条明显不同的路线

迅速发展。一条路线就是运用数学工具和经济学原理分析,研究新型防御武器系统。20 世纪 60 年代初期,美国国防部长麦克纳马拉把这套方法应用于整个军事领域,很快又将其在各政府部门推广,形成了著名的“计划—规划—预算系统”(PPBS)方法,其核心是分析经济合理性。在军事和政府部门的带动下,美国民间企业也开始应用系统分析方法来改善交通、通讯、计算机、公共卫生设施的效率和效能;在消防、医疗、电网、导航等领域,系统分析方法也得到了广泛的应用。另一条路线则体现在与大学相联系的研究与教学的活动之中。沿着这一路线,存在着一种把众多的学科加以系统理论化的倾向:开始是在生物学和自动控制研究领域;其后扩展到工程学、通讯理论、一般系统论、政治结构、国际关系、管理系统、生态系统、心理和精神分析以及教育系统等研究领域。到了 20 世纪 70 年代中期,系统分析逐步从理论研究与应用相互分离的状态走向相互结合、相互补充,并发展成为一种有效的方法体系。

目前,随着应用数学以及运筹学的进一步发展,高容量、多功能的电子计算机的出现,系统方法自身及应用范围不断深化和扩展,系统分析作为一种一般的科学方法论,已被各国所认可和采用,广泛运用于各类研究领域之中。

1.1.2.2 系统分析的概念

系统分析,又称系统方法,是把对象放在系统的形式中加以考虑的一种方法。

贝塔朗费将系统方法描述为:提出一定的目标,为寻找实现目标的方法和手段,要求系统专家或专家组在极复杂的相互关系网中按最大效益和最小费用的标准去考虑不同的解决方案,并选出可能的最优方案。

我国学者汪应洛在《系统工程导论》一书中则认为,系统分析是一种程序,它对系统的目的、功能、费用、效益等问题,运用科学的分析工具和方法,进行充分调查研究,在收集、分析处理所获得的信息基础上,提出各种备选方案,通过模型进行仿真实验和优化分析,并对各种方案进行综合研究,从而为系统设计、系统决策、系统实施提出可靠的依据。

根据上述思想,我们将系统分析定义为一种根据客观事物所具有的系统特征,从事物的整体出发,对对象的整体与部分(要素)、整体与结构和层次、结构与功能以及整体与外部环境等之间的相互联系、相互作用、相互制约的关系进行综合的、精确的考察,以探索可能采取的方案并进行优选,为决策者提供处理问题的最优方案的一种现代科学方法。

1.1.2.3 系统分析的作用

系统分析的作用主要包括:

- ① 帮助人们理解系统并对不同的系统加以比较;
- ② 鼓励人们对系统的不同部分进行并行的研究;
- ③ 使人们注意系统中的结构和层次的特点;
- ④ 开拓新的研究领域,增加新的知识;
- ⑤ 突出未知东西的探索,使人们从过去和现在的基础上了解未来;
- ⑥ 使人们转换视角,从不同的角度或侧面看问题;
- ⑦ 迫使人们在考虑目标和解决问题的要求时,也同时注意考虑协调、控制和执行的问题;

⑧ 诱导新的发现, 注意进行从目的到手段的全面调查;

.....

1.1.3 系统分析的内容

根据系统的本质与特征以及系统分析的基本思想, 可以将系统分析的内容划分为系统的整体分析、结构分析、层次分析、相关分析和环境分析等几个方面。

1.1.3.1 系统的整体分析

整体性是系统最基本的特性之一, 因而整体分析必然成为系统分析的一项基本内容。根据系统论的原理, 任何系统都是由众多的子系统(要素)所构成的, 系统整体的性质、功能与运行规律通常不同于其各个组成要素在分散独立状态下的性质、功能和运动规律, 它们是在整体意义上才显示出来的各个组成要素所没有的新性质、新功能和整体运行规律; 另一方面, 作为系统整体的组成要素, 其性质和功能也不同于它们在分散独立时的性质与功能。当它们作为系统的一部分与周围环境发生作用时, 并不是代表孤立的要素本身, 而是代表系统整体。整体分析的核心是: 从全局出发, 从系统、子系统、单元、元素之间以及它们与周围环境之间的相互关系和相互作用中探求系统整体的本质和规律, 提高整体效应, 追求整体目标的优化。因此整体及其目标的优化是整体分析的主要内容。

在实施整体分析、整体优化的过程中, 尤其是面对一些复杂的、较大的系统时, 通常需把系统分解为一组相关联的子系统, 然后在整体优化思想的指导下, 协调各个子系统的目标, 从而达到系统整体所要求的总目标, 即通过求局部最优化得到的局部解, 经过协调而得到整体的最优解。

从整体与局部的关系看, 系统优化通常有如下三种情形:

- ① 每个局部子系统都达到最优, 组合起来的系统整体也最优;
- ② 每个局部子系统都达到最优, 但系统整体却没有达到最优;
- ③ 局部子系统没有达到最优, 而系统的整体却较优。

从长远与近期的关系看, 系统优化也表现为各种情况: 对近期与长远都有利; 对近期有利, 对长远不利甚至有害; 对近期不利, 而对长远有利等。

因此, 整体优化的原则是: 根据既定的目标, 在整体最优的前提下, 处理好局部与整体、近期与长远的关系。

目前, 人们已经发展了一系列整体优化分析的定量分析方法与技术, 包括: 线性规划、非线性规划、动态优化和排队论等。

1.1.3.2 系统的结构分析

所谓系统结构, 是指系统内部诸要素的排列组合方式。同样一些要素, 排列组合的方式不同, 就可能具有完全不同的性质、特征和功能。对于一个复杂的系统而言, 其系统功能的强弱、系统目标实现的程度, 很大程度取决于系统结构的合理性。因此, 结构分析作为系统分析的一个基础环节, 其目的是通过分析系统构成上的整体性、环境适应性、相关性和层次

性等特征,寻求系统要素合理架构的途径和方法,使系统的组成要素及其相互关联在分布上达到最优结合和最优输出。

1.1.3.3 系统的层次分析

任何系统都具有一定的纵向的和横向的结构层次。系统的纵向结构层次是指一个系统可以从纵向划分为若干等级,即存在着不同等级的层次关系,其中低一级的结构是高一级结构的有机组成部分。例如,一个企业集团可以从纵向上划分为事业部、子公司、分厂、车间、班组等。而系统的横向结构层次则是指一个系统还可以从横向上分为若干相应联系、相互制约、又各自独立的平行部分。例如,一个建筑工程集团公司可划分为多个子公司,一个建筑子公司又可以分为若干个建筑队。系统的结构层次是系统稳定性、连续性的重要保证,也是系统发挥其最佳功能的前提条件之一。

系统的层次分析,首先要解决系统分层及其规模的合理性问题,层次的划分要考虑到系统传递物质、能量和信息的效率、质量和费用等因素;其次要使各个功能单元的层次归属合理。

系统的层次分析法则产生于20世纪70年代,由美国著名运筹学家萨蒂提出,其基本思路是:明确问题中所包含的因子及其相互关系,将各因子划分为不同层次;从而形成多层次结构,通过对各层次因子的比较分析,建立判断矩阵,并通过判断矩阵的计算将不同政策方案按重要性或适用性大小排列,为最优方案的选择提供依据。

1.1.3.4 系统的相关分析

如前所述,系统的相关性是指系统的各个子系统和要素之间以及它们与环境之间是相互联系和相互作用的,其主要体现在以下四个方面。

第一,相关性体现在系统与要素之间的不可分割的联系。在系统整体中,各要素并不是孤立存在的,而是由系统的结构联结在一起,相互依存、相互作用。如果其中一项发生变化,就会影响其他要素也发生变化。

第二,相关性体现在要素与系统整体的关系中。要素与系统整体相适应,一旦要素改变,整体必然发生改变;同样,系统整体发生改变,系统要素也必然发生变化。

第三,相关性表现在系统与环境的关系方面,即系统的改变引起环境的变化,环境的变化也会导致系统的变化;系统创造自己的环境,环境又规定着自己的系统。

第四,相关性还表现在系统发展的协同性上。协同性是指系统发展变化中各部分发展变化的同步性,即系统的变化必然引起各要素以及环境的变化,这种变化又不是杂乱无章的,而是有规律可循的,这个规律就是同步性。

相关分析要求我们在研究问题的过程中,尤其是问题界定、目标设定和方案规划中,要充分注意到各种问题及问题的各个方面之间、各个目标之间、各个方案之间、子目标与总目标以及子方案与总方案之间的关系,注意问题的目标和方案与环境之间的相互联系和相互作用,考虑各种因素对方案执行效果可能产生的影响,从而设计出理想的或较优的方案。

1.1.3.5 系统的环境分析

系统论认为,系统与环境是处于相互联系和相互作用之中的。这里的环境是指系统之外

的所有其他事物或存在，是系统发生、发展及运行的生态条件或背景。系统则以外界的条件或环境作为其存在和发展的土壤。一个系统总是处于更大的系统之中，成为更大系统的子系统；与此同时，更大的系统则构成该子系统的生态环境。系统与环境的相互联系和相互作用表现在：一方面，环境是系统的存在和发展的前提条件，环境影响、制约，甚至决定系统的性质与功能；另一方面，系统的存在和发展也改变着周围的环境，系统作用的不同将引起环境发生变化。正是因为上述的系统的状态、系统的问题同环境存在着相互联系、相互作用的特征，以至分析环境与系统的关系是接近系统问题的必要步骤。

环境分析涉及的内容很广，包括自然环境或物理技术环境分析，社会经济环境分析，文化心理环境分析，等等。在系统分析中，要对环境加以因时、因地、因人的分析，找出相关的环境因素，确定其影响的范围和程度，以便在方案的制定和执行中予以考虑，这正是环境分析的任务与目的。

1.1.4 系统分析的准则

由于系统是由诸多要素组成的，各个要素存在着相互依存的关系，而系统又处于动态发展之中，具有输入和输出的流动过程；此外，整个系统内部与系统外部环境还要发生联系和矛盾；因此，为处理好各种复杂关系，在系统分析时，必须遵循以下四项准则：

(1) 外部环境与内部条件相结合

系统的存在和发展是以外外部环境为条件的，环境的变化对系统有着很大的影响。对系统外部环境进行分析和研究，在于弄清系统目前和将来系统所处环境的状况，把握系统发展的有利条件和不利因素。所以在进行系统分析时，必须把系统内外各种有关因素结合起来综合分析，才能实现方案的最优化。

(2) 当前利益与长远利益相结合

选择一个最优方案，不仅要目前的利益出发，而且还要考虑到将来的利益。如果我们采用的方案，对当前和将来都有利，这样当然是最理想的方案。但是在现实经济生活中，当前利益和长远利益常常会出现矛盾，在处理这些矛盾时，要有长远的战略眼光，应以长远利益为重，兼顾眼前利益，力争把长远利益和当前利益结合起来，在服从长远利益的前提下，使当前利益的损失减少到最低程度。

(3) 整体效益与局部效益相结合

一个系统是由许多分系统组成的，如果每个分系统的效益都是好的，则整体效益也会比较理想。但是，在实际工作中并非如此，有时会出现局部效益好，而整体效益不好的情况，显然这种方案是不可取的。相反，如果局部效益不好，但从整体看比较好，这种方案则是可取的。在系统分析中，要正确认识和掌握全局和局部的辩证关系，要胸怀全局，强调局部服从全局，局部只能在全局之内，不能居于全局之上。这并不是否认局部效益，也不是用全局效益来代替局部效益，全局是由所有的局部构成的，没有局部，当然无所谓全局，也就没有整体效益。局部必须由全局来统率、来决定，没有全局，局部就从根本上失去存在的前提和保障，两者是相互依存的。因此局部要服从于全局，围绕全局进行活动；全局也要关心局部，照顾局部，支持局部，使它充满活力。

(4) 定性分析与定量分析相结合

定性分析指的是对系统目标未来发展本质的、规律性的认识。它包括对系统目标过去、现在、将来发展过程性质的分析。定量分析是在明确了系统目标未来发展性质的基础上,对其发展过程、因素影响程度及各目标之间的比例关系,或相互制约关系的数学分析。定性分析多采用主观经验方面的判断分析方法,与数学上完善的定量分析相比显得粗糙、简单,但是,这种分析方法是人们长期实践经验的总结,是一种经过充分考虑后的分析。

定量分析方法有许多优点,但其应用也是有一定局限性的,主要表现在两个方面:①对难以获得数据或没有原始数据的目标不能进行分析。②定量分析采用数学模型来模拟现实系统,从而必须对现实系统进行简化和量化。这种简化和量化一方面必然会使数学模型的模拟,在某种程度上存在因素分析不充分,机理探讨不深入的问题;另一方面,由于时间的推移,那些原先被忽略的“次要”因素可能上升为关键而重要的主要因素。一旦如此,原来的数学模型就难以描述现实系统了。为此,在系统分析中,应做到“定性分析定量化”和“定量分析的定性化”,这样,在探索和分析各种系统对象时,应明确定性分析是定量分析的基础,定量分析是定性分析的量化和具体化。遵循“定性—定量—定性”的分析思路,使两者有机结合,才能取得满意的系统分析结果。

1.2 系统分析中的定量技术

运筹学是 20 世纪三四十年代发展起来的一门学科,它研究的对象是人类对各种资源的运用及筹划活动,其应用涉及工农业生产、经济管理、科学技术、国防等领域,以及生产布局、交通运输、能源开发、最优设计、经济决策、企业管理、都市建设、农业规划、资源分配等问题。运筹学解决问题的方法是通过建立科学的系统模型,结合对机会和风险的估算,对可供选择的各种方案、战略进行分析,对可能的结果做出预测,并进行相应的比较。运筹学的目的是帮助管理者科学地进行决策,以帮助人们把事情办得更好。

系统分析同样试图帮助管理者科学地进行决策,并把事情办得更好。除此之外,系统分析还要找出那些不仅仅能办得更好,而且更少花钱的目标。可以说,系统分析是以运筹学为基础和核心,再加上经济的考虑、目标的调整以及与此有关的方法,它是运筹学的扩展。

作为运筹学的扩展,系统分析中的定量技术除了运筹学方法以外,还包含了概率论与数理统计、数量经济学、技术经济学等方法。

1.2.1 运筹学

系统分析中常用的运筹学方法主要有:规划论、网络理论、对策论、决策论、库存论、排队论、可靠性理论等。

1.2.1.1 规划论

规划论是研究对有限资源进行统一分配、全面安排、统筹规划,以取得最大效果的一种数学理论。其研究的问题一般可归纳为:①对一定数量的资源合理安排,以完成可能实现的最大

任务；②用尽可能少的资源，完成给定的任务。规划论的作用是：在满足既定条件下，按照某一衡量指标，从各种可行方案中寻求最优方案，为科学决策提供可靠依据。规划论通常把具体问题所必须满足的条件或既定要求称为约束条件；把衡量指标称为“目标函数”，反映所要达到的目标。因此，一般规划问题的数学表达就表现为求目标函数在一定约束条件下的极值（最大值或最小值）问题。规划论的方法主要包括线性规划、非线性规划、动态规划等。

（1）线性规划

线性规划是运筹学中比较成熟、比较重要的组成部分，应用范围极为广泛。它是研究在线性约束条件下，使一个线性目标函数最优化（极大化或极小化）的数学理论和方法。应用线性规划的数学理论和方法，能够确切地解释和合理地处理由人员、设备、物资、资金、时间等要素所构成的系统的统筹规划问题，因此它在系统分析中能够广泛地应用于经营计划、交通运输、工程建设、能源分配、生产安排等领域。

（2）非线性规划

非线性规划是研究目标函数或约束条件的变量关系不完全是线性的一种数学规划问题的理论和方法。在实际工作中，有很多定量问题很难采用线性规划来求解，如工程设计、生产过程控制等，只能应用非线性规划来寻求最优方案，以便达到预期的最佳效果。由于非线性规划的求解难度较大，应用范围较窄，因此，在实际应用上没有线性规划那样普及、广泛。

（3）动态规划

动态规划是研究具有时间性的多阶段规划问题、使总效果最优的数学理论和方法，主要用于解决多级决策过程的最优化问题。所谓动态，是指所考虑的规划问题与时间有关。多级决策过程是指将系统运行过程分为若干相继的阶段，而对一个策略空间的每个阶段分别做出决策。动态规划在经营管理系统中，适用于解决设备更新、存储运输等规划问题。

1.2.1.2 网络理论

网络理论是利用网络图，把庞大复杂的工程项目的各个环节合理地衔接起来，使之相互协调，以实现工程项目在时间和费用上达到最优目标的一种理论和方法。网络理论的研究着眼于整体系统，即将整体工程中各个环节的相互联系与时间关系组成统一的网络形式，清晰地反映整个工程的主要矛盾、关键环节和各种工作顺序。通过网络图的绘制和网络时间计算，可以预计影响进度和资源利用的各种因素，做到统筹规划、合理安排和使用资源，从而保证顺利地完工程项目的预定目标。网络理论主要应用于大型、复杂的工程系统，但它的应用范围正在日益扩大。网络理论不仅是运筹学的一个重要分支，在系统分析实践中，它已发展成为一门新兴的组织管理技术，对系统分析的推广应用起着重要的促进作用。

1.2.1.3 对策论

对策论又称为博弈论，它运用数学方法，研究有利害冲突的双方在竞争性活动中是否存在一方制胜另一方的最优策略，研究如何找出这些策略的方法。随着对策论的不断发展，不仅考虑只有双方参加的竞争活动，还考虑有多方参加的活动。在这些活动中，参加者不一定是完全对立的，还允许他们结成某种同盟。对策论的思路对解决实际问题很有启发，过去它在军事上应用较多，现在应用的范围日趋广泛。

1.2.1.4 决策论

决策论是研究决策问题的基本理论和方法。其主要研究内容为：通过对系统状态信息的处理，并对这些信息可能选取的策略、采取这些策略对系统状态所产生的后果进行综合研究，以便按照某种衡量准则，选择出一个最优策略。决策理论大致可分为传统决策理论和现代决策理论两类。传统决策理论是建立在安全逻辑基础上的一种封闭式的决策模型，它把决策人看做是具有绝对理性的“经济人”，决策时会本能地遵循最优化原则来选择实施方案。现代决策理论则不然，它的核心是“令人满意”的决策原则。现代决策理论认为，现代人头脑能够思考和解答问题的容量，要比复杂问题本身渺小得多，在现实社会中，要采用客观的、很合理的举动是很困难的，要取得绝对最优化的决策更是不可能的。因此，运用现代决策理论进行决策时，必须对各种客观因素和各种可能采取的策略以及这些策略可能造成的后果加以综合研究，并确定出一套切合实际的衡量准则，以使人们按照这些衡量准则，选取一个满意策略。

1.2.1.5 库存论

库存论是研究物资最优储存量的理论和方法。在经营管理工作，为了保证生产系统的正常运转，往往需要对原材料、零配件、器材、设备等各类物资确定必要的储备量。例如，在生产管理中，要根据最佳生产批量，确定原材料、在制品、成品的最优储存量等；在物资管理中，要确定最高与最低储存量、经济订购量、库存量等。库存论实质上是研究“最优储存量”的问题，也就是研究在什么时间、以多少数量、从何种供应来源补充所需要的物资储备，以便使库存数量和采购总费用为最少。

1.2.1.6 可靠性理论

可靠性理论是研究系统可靠性的基本理论和数学方法。在给定的时间、区间和规定的运用条件下，一个实体系统（设备、部件或元件）有效地执行其任务的概率，称为系统装置的可靠性。对任何正常工作的系统，尤其是在自动化控制系统中，都必须有一定的可靠性。一般来讲，实体系统越庞大，所用的零件或元器件越多，则可靠性就越差，系统整体的可靠性决定于各单元可靠性的调整。因此，对于庞大、复杂和价格昂贵的系统，如通信系统、精密机床自动加工系统、电子计算机系统等，都必须把可靠性研究作为系统技术评价的重要内容。

1.2.2 概率论与数理统计

概率论是研究大量偶然事件基本规律的学科，广泛应用于概率型模型的描述。数理统计学是用来研究取得数据、分析数据和整理数据的方法。

1.2.3 数量经济学

数量经济学是利用数学方法和计算技术，研究经济系统的数量、数量关系、数量变化及

其规律性的一门学科。这一学科的主要内容包括：国民经济最优计划和最优管理、资源的最优利用问题、远景规划中的预测技术、储备问题的经济数学分析、经济信息的组织管理和自动化体系的建立等。

1.2.4 技术经济学

技术经济学是一门兼跨自然科学和社会科学，同时研究技术与经济两个方面的交叉学科。它用经济的观点，分析、评价技术上的问题，研究技术工作的经济效益。它既要研究科技进步的客观规律性，考虑如何最有效地利用技术资源促进经济增长，又要分析和评价技术工作经济效果，从而实现技术上先进和经济上合理的最优方案，为制定技术政策、确定技术措施和选择技术方案提供科学的决策依据。

1.3 工程系统分析概述

1.3.1 系统分析在工程项目管理中的应用

系统分析的应用范围十分广泛。就其在工程项目管理中的应用而言，主要是以工程系统的整体效益为目标，考虑系统整体效益的最优化。

工程系统分析的主要应用领域有：

① 工程项目竞标方案设计。主要运用对策论对业主招标目的、其他各竞标企业可能采用的策略及各方中标的可能性及各自可能的得益进行全面的分析，以制订本企业竞标方案。

② 工程项目的计划与组织。主要运用网络计划技术进行全面的计划、协调和安排，以保证工程项目中各个环节密切配合，按期完成。

③ 工程系统规划方案的优化。主要是根据各种资源条件和目标要求，运用规划论的分析方法寻求优化方案。

④ 编制工程施工作业计划。运用投入产出法，使各项施工资源投入产出平衡与生产能力平衡，实现均衡生产。

⑤ 工程施工设施布局与施工组织。主要对人员、物资和设备等各种设施所需的空间作出最妥善的分配和安排，并使其相互间能有效地组合和安全地运行，从而使工程获得较高的施工效率和经济效益。

⑥ 工程质量管理。主要运用工程能力指数、排列图、因果图和管理图等方法进行质量分析，控制工程质量，提高工程质量的可靠性。

⑦ 施工材料库存管理。应用经济批量模型制定最佳储备点和进料点，压缩材料库存资金并降低成本。

⑧ 工程资金成本管理。对工程活动采取的技术措施，要进行成本的盈亏分析，然后再决定采取哪一种措施或方案更为经济合理。

.....

1.3.2 工程系统分析的基本要素

工程系统分析的基本要素有：问题、目标、可行方案、模型、费用、效果和评价标准。

1.3.2.1 问 题

对一个工程系统进行分析，首先必须界定所要分析的问题。所谓界定问题，就是把问题的实质和范围准确地加以说明。一般而言，问题的界定包括：确定问题的范围、明确问题构成因素之间的相互依存关系以及了解问题所处的环境状况和所受约束条件。系统分析人员一般认为：如果把一个问题说明得清清楚楚，等于问题已经解决了一半。

1.3.2.2 目 标

工程系统要分析的问题确定了，还必须明确分析所要达到的目标。明确目标是工程系统分析的前提。如果没有目标，解决问题的方案就无法确定；如果目标不明确，匆忙地做出决策，还有可能导致决策的失误。因此，在界定了问题之后，解决问题要达到的目标制订不能太抽象，必须细化、具体化。通过层层分解，上层目标规定下层目标，以下层目标为实现手段；下层目标支撑上层目标，以实现上层目标为目的，从而形成目标网络。通过上述分解过程，可以逐步明确问题的重点，并找出实现目标的手段和措施。

1.3.2.3 可行方案

通常，实现一个目标可采取的手段和措施是多种多样的。这些手段和措施在系统分析中称为可行方案，或称为备选方案。拟订供选择的可行方案，是系统分析的基础。一般而言，只有拟订出一定数量和质量的可方案供对比选择，才能发现方案的好与坏、优与劣，系统分析才能做到合理。而只拟订一个方案，就无法对比，也就难以辨别其优劣。可以说，没有选择，就没有系统分析。

1.3.2.4 模 型

模型是用以描述对象和过程某方面的本质属性的工具，它可将复杂的问题简化为易于处理的形式，同时还可以用简便的方式，在决策制定出来以前，就预测出它的结果。可以说，模型是系统分析的主要工具。一般而言，模型有三个主要特征：①它是现实系统的抽象描述；②它由一些与所分析的问题有关的主要因素构成；③它表明这些有关因素之间的相互关系。使用模型的意义在于：它能摆脱现实的复杂现象，而不受现实中非本质因素的约束，模型比现实更容易理解，便于操作、试验、模拟和优化。特别是改变模型中的一些参数值，比在现实问题中要容易得多，从而节省了大量人力、物力、财力和时间。

然而，模型也不能太复杂，它既要反映实际，又要高于实际，应具有抽象的特征。如果模型把全部因素都包括进去，甚至和实际情况一样复杂，那就很难运用。因此，模型既要反映系统的实质要素，还必须尽量做到简单、经济和实用。

在工程系统分析中，常用的模型有三类：概念模型、图形模型和数学模型。

(1) 概念模型。这是在调查研究现实工程系统情况时经常采用的，对系统中的复杂因素