

全国高等教育自学考试教材(工业工程专业)

# 运筹学与系统工程

汪应洛 陶谦坎 主编

机械工业出版社

全国高等教育自学考试教材(工业工程专业)

# 运筹学与系统工程

汪应洛 陶谦坎 主 编



机械工业出版社

本书除绪论外共分十章，包括运筹学和系统工程两大部。运筹学部分着重介绍了线性规划、动态规划和网络分析等基本概念、必要理论及其求解方法。系统工程部分除论述系统工程基本概念、理论基础以及系统分析方法论外，着重介绍了系统模型与仿真、系统评价和决策分析等；最后还介绍了现代企业经营战略的有关内容。书中对介绍的每一种方法，均附有相当数量的简明例题，便于读者通过自学来掌握基本内容及相应的求解方法。

本书是高等学校工业工程及管理工程类专业的自学考试教材，也可作为各级管理人员、工程技术人员及企业管理干部的培训教材和自学参考书。

## 运筹学与系统工程

汪应洛 陶谦坎 主 编

责任编辑：王世刚 特约编辑：刘秀兰

封面设计：汪德海

\*

机械工业出版社出版（北京市百万庄大街22号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

三河市宏达印刷厂印刷

机械工业出版社发行

\*

开本 787×1092<sup>1</sup>/16 印张 21.25 字数 518千字

1999年5月第1版·第2次印刷

印数 6 001—8 000 定价：27.00元

\*

ISBN 7-111-04173-9/F·564 (X)

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

## 出版前言

高等教育自学考试教材是高等教育自学考试工作的一项基本建设。经国家教育委员会同意,我们拟有计划、有步骤地组织编写一些高等教育自学考试教材,以满足社会自学和适应考试的需要。《运筹学与系统工程》是为高等教育自学考试工业工程(本科段)专业组编的一套教材中的一种。这本教材根据专业考试计划,从造就和选拔人才的需要出发,按照全国颁布的《运筹学与系统分析自学考试大纲》的要求,结合自学考试的特点,组织高等院校一些专家学者集体编写而成的。

工业工程(本科段)专业《运筹学与系统工程》自学考试教材,是供个人自学、社会助学和国家考试使用的。现经组织专家审定同意予以出版发行。我们相信,随着高教自学考试教材的陆续出版,必将对我国高等教育事业的发展,保证自学考试的质量起到积极的促进作用。

编写高等教育自学考试教材是一种新的尝试,希望得到社会各方面的关怀和支持,使它在使用中不断提高和日臻完善。

全国高等教育自学考试指导委员会  
1993年11月

## 编 者 的 话

本书是高等教育自学考试工业工程(IE)专业本科段运筹学与系统分析课程的试用教材,也是机械工程师进修学院工业工程(IE)专业继续教育教材。本教材根据全国高等教育自学考试指导委员会颁布的本课程自学考试大纲,通过全国考委机械类专业委员会编审,机械工程师进修学院配合组织编写。

本书是根据1992年12月在西安召开的课程自学考试大纲会议上通过的“运筹学与系统分析自学考试大纲”编写的。

“运筹学与系统分析”课程在工业工程专业本科段自学考试计划中是一门重要的专业基础课程,它是为培养能满足机电行业对工业工程高级人才需求而设置的。课程内容主要分运筹学与系统分析两大部分。运筹学是用数学方法研究系统最优化问题的一门学科,是学习系统分析(系统工程)的主要基础理论之一。系统工程是把自然科学和社会科学中某些思想、理论和方法,根据系统总体最优需要有机联系起来而逐步形成的一门交叉学科。因而,通过本课程的学习,不仅能培养自学者从系统总体出发来观察和处理各种实际问题的思想方法和优化技术,而且也为今后学习设施规划与物流分析、生产计划与控制等后续课程提供必要的理论知识和方法基础,本书就是为这一目的而编写的一本教材。

本书除绪论外共十章。第一章到第四章,属运筹学部分的内容,主要介绍线性规划、动态规划和网络分析等优化技术。第五章到第十章属系统工程部分的内容,主要介绍系统与系统工程、系统分析方法论、系统模型与仿真、系统评价、决策分析、现代企业经营战略等内容。

参加本书编写的有:汪应洛(第五章、第十章),陶谦坎(绪论,第四、六、七、八、九章),徐渝(第一、二、三章)等同志。汪应洛、陶谦坎任主编。

本书由天津大学顾培亮教授主审,陕西机械学院王肇荣教授、西安交通大学席西民教授参加了审稿。机械类专业委员会秘书长杨林森教授和秘书宗芳云同志也参加了审稿。

本书除可作为工业工程专业本科段自学考试学员学习运筹学与系统工程的教材外,还可供有关工程技术人员与管理的学习和参考。

鉴于本书涉及的知识面非常广泛,时间紧迫,加之水平有限,不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者 1993年10月

# 目 录

## 编者的话

绪论 ..... ( 1 )

第一章 线性规划的模型与求解 ..... ( 10 )

第一节 线性规划的基本概念 ..... ( 10 )

第二节 线性规划模型的建立 ..... ( 12 )

第三节 线性规划的图解法 ..... ( 18 )

第四节 单纯形法和计算机求解 ..... ( 20 )

第五节 对偶理论简介 ..... ( 40 )

第六节 灵敏度分析 ..... ( 50 )

复习思考题 ..... ( 59 )

第二章 线性规划的应用 ..... ( 60 )

第一节 经济管理领域中的几类典型问题 ..... ( 60 )

第二节 特殊的线性规划之一——运输问题 ..... ( 65 )

第三节 特殊的线性规划之二——整数线性规划 ..... ( 73 )

第一、二章思考题及习题 ..... ( 76 )

第三章 动态规划 ..... ( 81 )

第一节 动态规划的基本概念和最优化原理 ..... ( 81 )

第二节 动态规划的建模与求解 ..... ( 83 )

第三节 工程路线问题 ..... ( 84 )

第四节 资源分配问题 ..... ( 88 )

第五节 生产库存问题 ..... ( 91 )

第六节 动态规划的计算机求解 ..... ( 93 )

思考题及习题 ..... ( 95 )

第四章 网络分析 ..... ( 98 )

第一节 图及其矩阵表示法 ..... ( 98 )

第二节 网络分析 ..... ( 102 )

第三节 最短路问题 ..... ( 103 )

第四节 最大流问题 ..... ( 108 )

第五节 最短树问题 ..... ( 116 )

第六节 网络计划 ..... ( 120 )

思考题及习题 ..... ( 132 )

第五章 系统与系统工程 ..... ( 135 )

第一节 系统的概念 ..... ( 135 )

第二节 系统工程是一门新兴的交叉学科 ..... ( 139 )

第三节 系统工程方法论 ..... ( 142 )

第四节 系统工程发展过程与展望 ..... ( 144 )

第五节 系统工程的应用 ..... ( 148 )

复习思考题 ..... ( 151 )

第六章 系统分析方法论 ..... ( 152 )

第一节 系统工程特征 ..... ( 152 )

第二节 系统思想 ..... ( 154 )

第三节 系统分析方法论 ..... ( 156 )

复习思考题 ..... ( 160 )

第七章 系统模型与仿真 ..... ( 161 )

第一节 系统模型 ..... ( 161 )

第二节 结构模型 ..... ( 163 )

第三节 时间序列预测模型 ..... ( 173 )

第四节 马尔可夫分析模型 ..... ( 183 )

第五节 计量经济模型 ..... ( 194 )

第六节 系统仿真 ..... ( 199 )

第七节 系统动力学模型 ..... ( 213 )

思考题及习题 ..... ( 226 )

第八章 系统评价 ..... ( 230 )

第一节 系统评价概述 ..... ( 230 )

第二节 系统评价的程序 ..... ( 231 )

第三节 系统评价理论和方法 ..... ( 235 )

第四节 费用—效益分析 ..... ( 238 )

第五节 评分法 ..... ( 242 )

第六节 关联矩阵法 ..... ( 245 )

第七节 层次分析法 ..... ( 249 )

第八节 模糊评价法 ..... ( 257 )

思考题及习题 ..... ( 263 )

第九章 决策分析 ..... ( 266 )

第一节 决策分析概述 ..... ( 266 )

第二节 风险型决策..... ( 271 )	第一节 企业经营战略的概念及意义..... ( 303 )
第三节 灵敏度分析..... ( 277 )	第二节 企业经营战略的制订..... ( 304 )
第四节 信息的价值..... ( 278 )	第三节 市场战略..... ( 313 )
第五节 效用理论..... ( 282 )	第四节 海外发展战略..... ( 324 )
第六节 多目标决策..... ( 286 )	复习思考题..... ( 329 )
思考题及习题..... ( 301 )	参考文献..... ( 331 )
第十章 现代企业经营战略..... ( 303 )	

# 绪 论

## 一、运筹学历史

运筹学 (Operations Research) 简称 O.R 是用数学方法研究各种系统最优化问题的一门学科。它着重研究如何发挥已有系统的效能, 应用数学模型来求得合理运用人力、物力和财力的最优方案, 为决策者提供科学决策的有关信息和依据。因此, 应用运筹学解决问题的动机是: 为决策者提供科学决策的依据, 即帮助主管人员科学地决定处理问题的方针和行为; 目的是求得系统最优化问题, 即制定合理地运用人力、物力和财力的最优方案; 对象是各种系统, 它可以是工业、农业、商业、民政、国防等部门的系统, 特别是已经建立的各种系统; 方法是应用数学语言来描述实际对象系统, 建立相应的数学模型并据此求得最优解。可以说, 运筹学是一门在实践中得到广泛应用的学科。

英文“O.R”一词, 直译是“作业研究”。中国科学工作者从《史记·高祖本纪》书中“夫运筹于帷幄之中, 决胜于千里之外”一语中, 摘取“运筹”一词作为 O.R 的意译, 其含义是运用筹划, 出谋献策, 以策略取胜等; 比较确切地反映了 O.R 一词的内涵。

O.R 一词起源于二次大战前的 1938 年。当时英国波得塞雷达站负责人 A.P. 洛维 (A.P. Rowe) 提出要求对整个防空作战系统的运行问题需要进行全面研究, 以合理解决各雷达站之间以及雷达站与整个防空系统之间应如何协调配合才能有效地防备德国飞机入侵轰炸的问题, 为此, 专门成立了一个由各方面学者、专家组成的研究小组, 并以“O.R”命名这种研究活动。到了二次世界大战期间, 运筹学有了新的发展。为了急待解决作战中所遇到的许多错综复杂的战略战术问题, 英美一些具有不同学科和背景的学者专家, 组成了许多运筹学小组, 专门从事运筹学的研究, 研究的典型课题有: 高射炮阵地火力的配置, 护航舰队规模的大小, 以及反潜艇作战的侦察策略等。当时, 由于受到战争需要的压力, 也由于不同学科相互渗透而产生的协同作用, 在上述这些典型课题的研究中, 都取得了显著成果。从而为运筹学各种分支的开发和理论方法的充实作出了很大的贡献。二次大战后, 上述有关专家学者又转向研究在民用部门应用类似方法的可能性。因而促进了在民用部门应用运筹学有关方法的研究和实践。1947 年, 美国数学家 G.B. 丹捷格 (G.B. Dantzig) 在研究美国空军资源配置问题时, 提出了求解线性规划的有效方法——单纯形法 (Simplex Method)。50 年代初, 应用电子计算机求解线性规划问题又获得了成功。到了 50 年代末, 工业先进国家的一些大型企业已陆续应用了运筹学方法以解决企业生产经营活动中所出现的许多复杂问题, 取得了良好效果。从有关文献资料记载中可知, 各国民用部门率先采用运筹学方法的是一些赢利性的大型企业和公司。例如, 石油企业把大规模线性规划用来制订生产计划问题等; 后来又针对企业中一些较为普遍性的问题, 如资金分配、库存、设备更新、任务分派等问题进行了优化研究, 提出了许多相应的方法并付诸使用。运筹学用在服务性工业和公用事业方面, 则是 60 年代中期才蓬勃开展起来的。当时, 一些银行、医院、图书馆等企事业单位都已逐渐认识到运筹学的相应分支对帮助改进服务功能、提高服务效率、降低服务成本等所起的作用。



随着电子计算机的迅速发展，为广泛地应用运筹学方法提供了有力工具，从而使运筹学的应用又开创了新的局面。

当前，运筹学在生产管理、工程建设、军事作战、科学试验、财政经济以及社会系统等各个领域中都得到了广泛的应用。一些发达国家的企业、政府、军事等部门都拥有相当规模的运筹学研究组织，专门从事运筹学的应用研究，为上层决策部门提供科学决策的方法和信息。随着运筹学的兴起，各国都先后成立了运筹学研究的学术机构。

早在1948年，英国成立了运筹学俱乐部，1954年改名为英国运筹学会。美国运筹学会于1952年创立，为运筹学界的有关科学家服务，并出版了《运筹学》的专门学术刊物。1957年，在英国牛津大学召开了第一届国际运筹学会议。以后每隔三年召开一次。1959年，成立了国际运筹学联合会（IFORS）。我国于1956年成立了第一个运筹学小组，1980年成立了全国运筹学学会，对促进我国运筹学的应用和发展起了积极的作用。

60年代初以来，美国愈来愈多的大专院校，都相继开设了运筹学课程及其有关的一系列课程。许多主要大学还纷纷设立了有关运筹学的理科硕士和哲学博士的研究生课程。我国早在50年代中，著名数学家华罗庚教授就在一些事业、企业单位积极推广和普及优选法、统筹法等运筹学方法，取得了显著成果。70年代后期，由于大力提倡系统工程在各个领域中的应用，作为系统工程主要理论基础之一的运筹学，也就更加受到重视。今天，我国有关高等院校不仅设置了运筹学专业，培养从事运筹学研究开发人才，而且在工业工程、管理、财经等有关专业普遍开设了运筹学的必修课程。一些系统工程专业及其它专业的硕士生，也设置了运筹学作为学位课程。大量管理干部培训班、研讨班等也开设了有关这方面内容的课程。总之，当前运筹学正处在兴旺发达的时期。可以认为，运筹学在我国的应用和推广对“四化”建设将会作出积极的贡献。

## 二、运筹学分支

运筹学是一门多分支的应用学科，其主要分支有：

线性规划 整数规划 非线性规划 动态规划 网络分析 排队论 决策论 对策论 存贮论 搜索论 可靠性理论等。

随着新的系统问题的不断出现，在已有分支的基础上，又开发了许多新的内容，如计划协调技术（PERT）、图解协调技术（GERT）等。

近年来，随着运筹学广泛应用于各种专业学科，因而在各种专业学科范围内又发展了一些新的分支。同时，所召开的运筹学学术会议也包括了许多专业性会议；会议所讨论的课题有：“军事运筹学”、“运筹学在公共卫生计划中的应用”、“运筹学在公共交通中的应用”、“运筹学在旅游观光事业中的应用”等，以及“能源运筹学模型”、“教育运筹学模型”、“刑事司法运筹学模型”等等。看来这种发展趋势将会持续下去。另一方面，随着运筹学逐渐向社会经济系统渗透，而社会经济系统又往往存在着大量不确定因素和模糊因素。因此，仅仅依靠运筹学的数学模型来作定量分析，已很难处理与解决好系统的最优化问题。所以，近年来又提出了所谓的定性运筹学，如“冲突分析”（Conflict Analysis）即被认为是一种用来进行定性分析的运筹学分支。可以说，目前运筹学的研究内容和方法已出现了定量分析和定性分析相结合的发展趋势。

## 三、运筹学模型

运筹学的应用其实质在于模型的建立和求解。一般，应用运筹处理问题时，首先要求从

全面观点来分析问题，即不仅要求提出需要解决的问题和希望达到的目标，而且还要弄清问题所处的环境及其约束条件；这些约束条件包括：时间、地点、资金、原材料、设备、动力、人力、信息以及技术等。同时要抓住要处理问题中的主要因素、各种环境和约束条件等之间的制约关系。这就要求掌握运筹学理论和方法的人员同有关行业的专家汇集一起，发挥各自的特长，从不同角度出發，共同针对问题的性质，商讨问题的处理方法。只有这样，才可以开始建立运筹学模型以寻找问题的最优解答。

运筹学模型多数是数学模型，但也有图像模型（如网络分析模型）和仿真模型。建立模型有许多优点，例如，将一个企业的生产计划问题用数学模型描述后，能使企业在计划实施前就可以检验所制定的计划是否符合原订要求，否则可以修订某些可控参数或约束条件，以最终找到最优计划方案。应用数学模型有利于对事物作更好的描述和理解。它还能反映出用文字描述时易被忽略的一些因素和未包含的关系。

总之，运筹学模型是对客观现实问题的一种描述，它必须反映客观实际，为此，在建模前必须明确目标，并分析其背景和约束条件。但它又高于实际，是现实世界的一种抽象。只有这样，才便于研究其共性，使模型达到一定的要求。

#### 四、运筹学与计算机

电子计算机的产生与发展为推动运筹学的应用作出了积极的贡献。事实上，任何一个运筹学的实际问题，倘若没有电子计算机的辅助，用它来算出其最终结果，那么绝大多数的运筹学技术方法是不可能实现的。如果一个实际问题的运筹学模型的解算，若用计算机求解可能只需几分钟、十几分钟、几十分钟的时间，而用人工计算则可能要化费几周、几个月甚至几年时间。更为重要的是，计算机能快速地提供运筹建模所需的各种生产上、经济上和管理上的各种信息。没有这些信息，运筹学模型就会变成毫无意义的一些数学方程。可以毫不夸张地说，运筹学家很难举出一个完全不靠计算机为工具的求解较为复杂系统问题的应用实例。

毫无疑问，随着时间的推移，计算机终将成为运筹学不可分割的一部分和必不可少的工具。今天不仅要求运筹学人员能掌握使用计算机，而且会进一步编制具有特殊解法的计算机程序。预见在今后的岁月中，运筹学与计算机的关系将会愈加密切，它们之间将以一种更广泛、更通用的管理科学形式出现在人类面前。

#### 五、系统工程<sup>①</sup>历史

系统工程（System Engineering）简称SE是20世纪中叶才开始兴起的一门边缘性交叉学科。它是把自然科学和社会科学中的一些思想、理论和方法，根据系统总体协调的需要有机联系起来而逐步形成的。

由于近代工业、农业、科学技术和国防建设等的迅速发展，出现了许多规模庞大、结构复杂、影响因素众多的大系统，诸如：大型水利工程系统、跨地区的电力网络系统、综合交通运输系统、大型军事指挥系统、大型工业企业系统以及社会经济系统等。这些系统一般都具有多输入、多输出、多目标、多学科、多技术的人机系统。系统工程正是研究这类系统的结构和行为机制及其发展规律的一门新兴工程技术。系统工程从系统总体出发，采用各种先进技术和优化方法，力图使大系统达到最优开发、最优控制和最优管理，从而能最充分地发

<sup>①</sup> 由于国际上对系统工程与系统分析具有基本相同的理论和方法，因此，常常把它们作为同义语来对待，或者只是由于研究的侧重面不完全相同而采用不同名词。本书是将系统工程和系统分析作为同义语来对待的。

挥投入系统的人力、物力和财力的作用，以获得最大限度的技术经济效益，为社会创造更多的财富。

早在20世纪40年代，美国贝尔（Ball）电话公司为了在一定的物质条件下发展微波通信网络时能获得更多的经济效益，有关工程技术人员从工程总体出发，研究采用了一些优化技术，颇见成效。为此最先提出了“系统工程”这一名词。

从40年代后期到50年代初，由于运筹学的应用和发展，以及控制论的创立和推广，为系统工程奠定了重要的理论和方法基础。电子计算机的出现为系统工程提供了快速计算工具和信息处理手段，成为发展系统工程的重要物质基础。

到了50年代中，美国学者高德（Goods）等写出了第一部以“系统工程”命名的书籍。特别到了60年代，美国在实现阿波罗（Appol）计划过程中，由于采用了系统工程有关的思想和方法，使历时11年、耗资300亿美元、有2万多家公司、120所高等院校研究机构40万人参加的大系统取得了成功，从而使系统工程名噪一时，并因此在世界范围内迅速推广使用。在这一时期内，为了开发大型工程项目制订计划的需要，开发了PERT（计划协调技术）和CPM（关键路线法），促进了系统开发的进程，尔后又发展了GERT（随机网络技术）。60年代后期，对复杂的大系统问题，采用分解和协调方法使复杂系统用多级递阶结构形式出现。与此同时，美国学者查德（Zadeh）提出了“模糊集”概念，奠定了模糊数学的理论基础。其它还有贝塔朗费的一般系统论，普里高津的耗散结构理论等，为推动系统工程的发展作出了一定的贡献。

70年代以来，随着微计算机的发展，出现了分散控制系统和分散信息处理系统的理论和方法，实现了多级分散的计算机管理、控制和信息处理系统，这就进一步提高了系统的灵活性、扩展性和可靠性。系统工程的应用已远远超出了传统“工程”的概念，从对大型工程的应用进入到解决各种复杂的社会—技术系统和社会—经济系统的最优开发、最优控制和最优管理阶段。在这一时期，为适应大规模复杂系统的广泛应用，在现代控制理论的基础上，形成了“大系统理论”，它主要研究大系统结构方案、递阶控制方案等方面的问题。1973年以后，德国学者赫尔曼·哈肯发现了不同系统之间共同存在着同一系统的要素之间的协同现象而创立了协同论。他的发现已超出非平衡统计物理学的研究范畴而有更普遍的意义。

进入80年代以来，人们着眼于将系统科学、运筹学、现代控制论、大系统理论、信息论、管理科学等理论和方法综合发展、相互渗透、交叉应用，并和电子计算机和通讯卫星的广泛应用结合起来，推动了系统工程的飞跃发展。这就使系统工程研究的范围扩展到自然、技术、经济和社会的复杂的大系统，并进一步发展了决策理论、政策分析和战略研究等领域，使系统工程在社会生活中发挥了愈来愈大的作用。

系统工程在我国的发展虽始于50年代中期，但系统工程的思想和方法的运用则可以追溯到古代。例如：战国时代（公元前250年）秦国太守李冰父子主持修建了驰名中外的四川都江堰水利工程就是一个典型的事例。都江堰水利工程体现了非常完善的总体观念、优化方法和开放的、发展的系统思路，即使从现在的观点看，仍不愧是世界上一项宏伟的系统工程建设。

又如：宋真宗时，皇城失火，宫殿烧毁，派大臣丁渭主持皇宫修复工程。丁渭经过通盘筹划，提出了一个巧妙的施工方案。首先，将皇宫前的大街挖成大沟，就地取土烧砖，省去从远地取土，然后把汴水引入大沟，用水路运输建筑所需器材，使工程能顺利进行，等到皇宫修复后，再把碎砖废土等填入沟中，修复大街，使烧砖、运输建筑器材和处理废物等三项

繁重的工程任务都顺利得到解决，真可称是一举三得的最优方案，体现了朴素的系统思想方法。总之，像上述的例子还可以举出很多，由于篇幅所限，就不多赘述了。

50年代中期，由于当时我国有计划按比例发展的经济建设需要科学的组织管理技术，1956年在中国科学院力学研究所建立了我国第一个运筹学研究组。60年代初又在中国科学院数学研究所成立了运筹学研究室。著名科学家华罗庚教授从60年代初期大力推广“统筹法”、“优选法”，并获得了良好的效果。

1977年以后，系统工程在我国的应用和推广出现了新的局面，在全国科学技术长远发展规划中，把系统工程的理论和应用作为重点学科列入了规划。在第一批重点高等院校成立了系统工程研究所（室），并招收了系统工程专业的研究生，有的学校还招收了大学本科生。

系统工程的研究工作，从初期传播国外的理论、方法和应用情况，到进而独立开展系统工程理论和方法的研究，并注意理论联系实际，积极开展应用研究，10余年来，主要的研究课题，在能源方面有：全国能源需求预测、生产开发研究、能源规划等；在经济方面有：经济发展预测、宏观经济模型、价格模型、区域经济发展战略等；在社会方面有：人口预测、人口控制模型等；在教育方面有：全国人才规划、教育规划等；其它在工程项目可行性研究、大型工业企业开发等方面也进行了大量研究，而且取得了一些实际成果。

总之，系统工程在我国的发展历史虽短，但已显示出强大的生命力，相信随着我国改革开放政策的深化，它将会作出更加积极的贡献。

## 六、系统工程内容

按照我国科学家钱学森教授的提法：“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科学方法。……系统工程是一门组织管理的技术”（见文汇报1978年9月27日钱学森、许国志、王寿云“组织管理的技术——系统工程”一文）。因此，系统工程的内容丰富，涉及面广，主要从几个方面进行简要的介绍。

### 1. 有关系统工程方法论方面的内容

所谓系统工程方法论是指为了合理地规划和开发系统所需的系统思想和工作程序。这是保证系统规划和开发顺利进行，并按系统预定目标有效运行所需的重要内容。

系统工程方法论是从系统工程的实践中形成和发展起来的，随着实践的不断丰富和系统工程研究对象的不断扩大，系统工程方法论的内容也不断获得修正、补充和创新。较为著名的系统工程方法论有：“霍尔（Hall）三维结构体系”方法论，也有称之为“硬科学”方法论。“切克兰特（Chechrand）”方法论，也有称之为“软科学”方法论。我国学者在总结前人方法论的基础上，通过不断实践和总结，也提出了适合自己国情的方法论。

总之，在系统规划开发过程中必须遵循系统工程方法论中规定的工作程序来进行。但它毕竟是一种带有经验性的总结，在具体实施中要因时因地制宜，参照执行，切忌生搬硬套。

### 2. 有关了解和掌握系统结构和行为方面的内容

系统是由许多相互支持又相互制约的要素所构成。为此，在规划和开发系统时，除了要确定系统中要有哪些要素外，还必须进一步明确这些要素之间存在着何种逻辑关系，也就是说，要建立系统的结构模型。目前已经开发了不少结构模型化技术，而其中尤以解释结构模型（ISM）最为常用。

另外，为了及时掌握系统未来的行为，必须要掌握各种预测技术，而时间序列法及马尔

可夫分析为常用的预测方法。

### 3. 有关系统定量分析和优化计量方面的内容

为了达到对系统进行最优开发、控制和运行的目的，除了对系统进行定性分析外，还必须对其进行定量分析，并根据运筹学有关的优化方法建立必要的模型，包括数学模型、图像模型和仿真模型这方面的内容将在下面有关章节中详细介绍。

### 4. 有关系统评价和系统决策方面的内容

系统评价在系统开发中是一个既重要又复杂的问题，在系统开发过程中，通过系统思想、程序和方法的应用，不仅要提出许多开发系统的替代方案，而且还要通过系统评价技术从众多的替代方案中为选择最优的系统方案提供足够的信息。所谓系统评价，就是评定系统的价值。系统评价的方法已有数十种之多。本书将介绍几种常用的系统评价方法。

系统评价和系统决策是密切相关的，系统评价只有和方案决策或行为决定联系起来才有意义。评价是为了决策，而决策需要评价。“评价”和“决策”有时候可以作为同义词使用。但在实际问题上，由于评价目的不同，两者仍有所区别，本书将以决策论为主介绍决策分析方法，同时简略地介绍多目标决策问题。

### 5. 有关系统发展战略研究方面的内容

随着人类社会的发展，“战略”一词已被引伸到政治、社会、经济等领域，特别是从本世纪50年代以来，社会经济活动日益复杂，全局性的、长远性的发展方向和指导思想就显得愈加重要，因而社会经济发展战略问题逐步引起了人们的重视，到了60年代出现了发展战略的概念，为了提高社会经济活动的管理水平和决策民主化、科学化水平，要求领导者具有更强的预见性和战略的制订和控制能力，善于开创社会经济发展的新局面，战略研究的兴起正是为了适应这种需要。

本书将着重介绍现代企业经营战略，内容包括企业经营战略概念、战略制订、市场战略等。

## 七、运筹学与系统工程的性质、任务和要求

### 1. 课程性质

运筹学与系统工程都着眼于解决系统最优化问题。一般，运筹学着重研究和解决已有系统的优化问题。而系统工程既有开发新系统的优化问题，也有对已有系统进行改造使之具有新的系统功能的问题。在很多情况下，系统最优化问题又要借助于运筹学的有关优化技术。尤其在工业企业系统中，存在着大量的系统最优化问题，归纳起来大致有如下优化问题类型。

(1) 资源分配型 指在企业生产经营活动中，如何合理安排和分配有限的人力、物力和财力等资源。从各种可行的分配方案中，找出能使他(它)们充分发挥潜力、达到目标为最大(如利润最大)或最小(如成本最小)目的的系统最优化问题。解决这类问题的优化技术主要有线性规划和动态规划。

(2) 存贮型 在保证生产过程顺利进行的前提下，如何合理确定各种所需资源的存贮数量，使资源订购费用、存贮费用和因缺少资源影响生产所造成的损失费用等总和为最小的优化问题。解决这类问题的优化技术主要有存贮论、动态规划等。

(3) 输送型 指在一定的输送条件下，如何使输送量最大，输送距离最短，输送费用最少等的优化问题。解决这类问题的优化技术主要有运输规划和网络分析等。

(4) 组合型 有生产、销售任务的最优分派问题；有设备调整或成组零件加工先后顺序如何合理安排问题；从而使总的时问（或费用）最少的顺序问题等等。解决这类问题的优化技术有网络分析、动态规划等。

(5) 等待型 由要求服务的“顾客”（指损坏的机器、到达机场上空的飞机、等待加工的零件等）和为“顾客”服务的“机构”（指修理机器的技工、机场跑道、加工零件的设备或工人等）所组成的服务系统中，必须从系统总体出发来解决“顾客”和“机构”之间的一系列问题。如已知“顾客”按一定的规则来到服务“机构”，以及在已定的服务规则等前提下，要求确定“顾客”在服务系统中等待多少时间才算合理，设置多少个服务“机构”，既能使“顾客”排队等待时间减少到最低程度，又能使服务“机构”充分发挥潜力等。解决这类等待型的优化问题有排队论。

(6) 决策型 在系统开发和经营管理中，由于决定技术经济问题的因素愈来愈多，解决生产经营问题的途径和措施日益多样化。因此，需要通过许多行之有效的评价和决策技术，从各有利弊的替代方案中，选出所需的最优方案。解决这类问题的优化技术主要有各种评价理论和方法以及决策论等。

(7) 综合型 系统总体最优化的问题往往是一个综合性的复杂问题。从空间上说，它涉及社会、政治、经济、科学技术、经营管理等一系列有关问题；从时间上说，从系统定义、规划阶段开始到系统设计、制造、试验、运行乃至系统废弃等各个阶段都会出现最优化的问题。系统总体最优化的问题并不是系统各个要素或各个子系统优化的简单集合。如果说，上面提到的6种类型优化问题是解一个系统在不同空间或不同时间阶段的局部优化（或子系统优化）问题，则综合型的优化问题就是利用象大系统理论、大线性规划、系统动力学模型等理论和技术，在各个局部问题（或子系统）优化基础上，来求解系统总体最优化的问题。

上述工业企业系统中不同类型的优化问题，各有其不同的优化技术，而这些优化技术绝大多数是属于运筹学范畴的有关分支。所以说，运筹学是系统工程的一门重要的专业基础理论。而系统工程是一门解决系统开发和“系统化”有关优化问题的新兴学科，在科学体系结构中，系统工程属于工程技术。这将在“系统与系统工程”一章中详加阐述。

## 2. 课程任务

《运筹学与系统工程》是一门来源于实际需要、又在实践中不断丰富、充实和发展的课程，虽然它的研究对象是分属于社会、经济、技术等各个领域中的系统，这些系统之间具有千差万别的特点。但是，通过人们长期的不断的实践和总结，发现这些千差万别的系统中，仍然可以找到它们之间的一些共性问题。例如：支配系统要素的属性的定理是共性的，系统要素之间的关系，即系统具有的结构是共性的等等。正因为如此，在此基础上所形成的普遍的原理、定理和方法，可以作为分析问题和解决问题的工具来处理 and 求解对象系统的有关问题，如图1所示。至于对象系统所固有的个性问题，可以在充分认

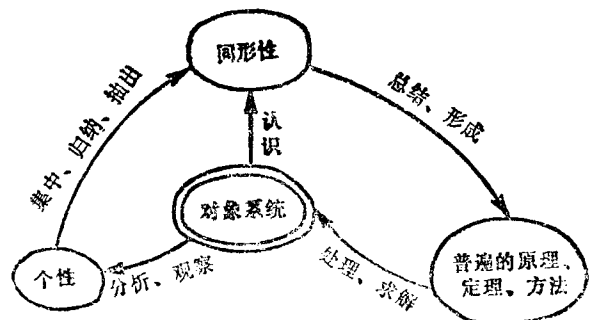


图1 课程的发展规律

识这些个性的基础上开拓求解这些个别问题的方法。集中和归纳这些个别问题的解法并予以总结提炼，这样又可以在新的共性基础上再次形成普遍的原理、定理和方法。如此往复循环，从而促进了运筹学和系统工程的不断发展。因此，从这个意义上来说，要求读者在自学过程中不仅要认真阅读教材和参考书籍，而且能紧密联系自己周围的实际，切实理解和掌握课程有关内容的基本概念，必要的理论知识和基本方法。通过本课程的学习，培养自学者从系统总体最优出发来观察分析和处理各种实际问题的思想方法和掌握足够的优化方法。并为以后自学有关的后续课程提供必要的理论知识和方法。

### 3. 课程要求。

通过本课程的自学，要求做到：

(1) 能较系统地理解和掌握线性规划、动态规划和网络分析等优化技术有关的基本概念、必要的理论知识以及建模和求解的常用方法。

(2) 理解系统和系统工程基本概念和内容，掌握系统分析方法论的基本内容和分析程序及其方法。

(3) 理解和掌握有关系统模型与仿真、系统评价和决策分析以及现代企业经营战略等基本内容和建模求解方法。

总之，要求自学者能结合实际事例运用所获得的基本思想、理论和方法去分析问题和解决问题。

为了掌握自学进度，简要地介绍各章节之间的联系问题。

“绪论”内容虽不作考核要求，但可以了解运筹学与系统工程的发展历史、主要内容及课程性质、任务和要求等，这对加深对本课程的认识，增强自学信心等都是大有裨益的。

第一章“线性规划的模型与求解”和第二章“线性规划的应用”联系密切，自学者必须在顺序理解和掌握第一章有关概念、原理和方法的基础上，开始自学第二章的内容。第二章除介绍常用的线性规划模型外，还介绍了两种特殊线性规划问题及其解法。要注意与常用线性规划模型的联系。

第三章“动态规划”，是运筹学的一个相对独立的分支，与上述两章在方法上没有内在联系。但各节之间联系紧密，自学时必须按节顺序渐进。

第四章“网络分析”，也是运筹学的一个相对独立的分支，与上述各章在方法上没有内在联系。但首先要了解第一节的基本概念，在此基础上开始学习网络分析各种研究问题的算法，还要理解有关问题间的内在联系。

第五章“系统与系统工程”，这是系统工程部分的开始。自学时必须是在了解系统概念、定义、特性及分类的基础上，理解系统工程的理论基础、方法论等内容，并了解系统工程发展的展望，为后续章节奠定基础。

第六章“系统分析方法论”是在第五章自学的基础上，进一步领会系统工程所具有的特征、系统思想及由此形成的系统分析方法论。这对自学后续章节内容具有指导和加深理解的意义。

第七章“系统模型与仿真”，主要介绍除运筹学的数学模型外的一些常用模型及仿真模型。本章内容较为丰富。除系统模型定义、特征及基本要求外，每种模型都相对独立，自成体系。

第八章“系统评价”。本章除概述系统评价重要性、价值概念等内容外，着重介绍了常

用的几种系统评价方法。各种评价方法的程序基本相同，但方法相对独立。

第九章“决策分析”，本章以风险型决策分析为主介绍了几种方法，在此基础上又引出了其它一些决策分析问题，最后简单介绍了多目标决策的问题，自学时要求按节顺序进行。

第十章“现代企业经营战略”。本章内容新颖。自学时必须按节顺序进行才能加深对本章内容的理解和掌握。



# 第一章 线性规划的模型与求解

## 第一节 线性规划的基本概念

在经济、管理领域中，常常会遇到这样的问题：当一项任务确定后，应如何统筹安排才能做到用最少的人力、物力资源去完成？如何合理地安排使用现有的人力、物力资源以使得创造的利润（财富）最多？先看一个简单的例子：

某企业现生产三种主要产品分别为A、B、C，所需的原材料、工时及可得利润如表1-1所示。

表 1-1 所需资源及可得利润

产 品	A	B	C
生产单位产品所需工时(h)	7	3	6
生产单位产品所需原材料(kg)	4	4	5
单位产品利润(元)	4	2	3

若每天只能保证供应200kg原材料，可用工时为150h，试问如何安排生产计划能使三种产品的总利润最大？

现行的生产方案是：生产产品A12件、产品B10件、产品C6件，总利润为86元，工时全部用完而原材料可节余82kg。试问，在不改变原材料供应及可利用工时总量限制的条件

下，总利润能否再提高一些呢？答案是肯定的。用“线性规划”的方法可以重新安排生产计划——仅安排生产产品B50件，而不安排产品A和C的生产，这样总利润可达到100元，且原材料及可利用工时全部用完。那么，什么是线性规划呢？其定义如下：

对于求取一组变量 $x_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ )，使之既满足线性约束条件，又使具有线性表达式的目标函数取得最优值（极大或极小值）的一类最优化问题称为线性规划问题。

线性规划问题的数学模型的一般形式是：

$$\max (\text{或} \min) Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (1-1)$$

$$\text{s. t. } \ominus \begin{cases} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n \leq (\text{或} =, \geq) b_1 \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n \leq (\text{或} =, \geq) b_2 \\ \dots \quad \dots \quad \dots \\ a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n \leq (\text{或} =, \geq) b_m \\ x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \end{cases} \quad (1-2)$$

式中  $Z$  为目标函数， $x_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) 为决策变量， $c_j$  ( $j=1, \dots, n$ )、 $b_j$  ( $j=1, \dots, m$ )、 $a_{ij}$  ( $i=1, \dots, m; j=1, \dots, n$ ) 均为常数。

通常称式(1-1)为目标要求，式(1-2)为约束条件，式(1-3)为非负条件。

比较前面的例子，可以列出其线性规划模型为：

$$\max Z = 4x_1 + 2x_2 + 3x_3$$

⊖ s. t. 即英语 subject to，意为“受限制于”，用此作为限制条件的表述符号。