



经济管理研究方法丛书

管理运筹学方法

OPERATIONS RESEARCH IN MANAGEMENT

何大义 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

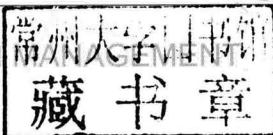


经济管理研究方法丛书

管理运筹学方法

OPERATIONS RESEARCH IN MANAGEMENT

何大义 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

管理运筹学方法/何大义编著. —武汉: 武汉大学出版社, 2018. 2
经济管理研究方法丛书
ISBN 978-7-307-12699-2

I. 管… II. 何… III. 管理学—运筹学—教材 IV. C931.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 004383 号

责任编辑: 顾素萍

责任校对: 李孟潇

版式设计: 韩闻锦

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 湖北睿智印务公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 20.25 字数: 361 千字 插页: 1

版次: 2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-12699-2 定价: 39.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。



经济管理研究方法丛书编委会

主编

刘顺忠

委员（按姓氏笔画排序）

刘顺忠 刘继红 何大义

李亚红 郑承利 荣丽敏

序 言

当前,我国经济发展面临既要保持较高的增长速度,又要进行结构调整的问题,因此,政府需要选择更合理的可持续发展道路。什么是更为合理的可持续发展道路?这个问题不是拍拍脑袋就能够明白的,它需要广大经济学和管理学研究者,采取科学的研究方法,对我国经济发展和组织运营规律进行科学的分析,以便为政府制定经济政策和企业管理者构建运营战略提供有力的辅助决策建议。经济整体是由各个组织单元构成的,这些单元相互作用,决定了经济发展路径。因此,经济和管理本身就是两个密切相关不可分离的学科。如何从我国经济管理实践出发,提炼具有中国特色的经济管理理论,并以之指导我国经济管理实践成为我国经济发展的必由之路。提高经济管理水平,需要以科学的经济管理理论作为指导。鉴于不同国家体制和文化的差异,不能照搬照抄国外理论来指导我国经济管理的实践。为了科学指导我国经济管理的实践,迫切需要从我国经济管理实践中提炼具有中国特色的经济管理理论。理论的提炼需要以科学的研究方法为基础,科学的研究方法分为以下4个类别:(1)从理论到理论的方式;(2)从基本前提出发,通过演绎和数理分析获取理论的数理分析方式;(3)实证研究方式;(4)实验研究方式。客观来讲,国外,特别是西方发达国家,其经济管理研究具有很高的规范性。虽然我国经济管理学界正由原来纯理论和思辨性研究向实证研究和实验研究转变,然而在研究过程中,有关研究方法的使用还存在较多基础性错误。因此,以经济管理研究面临的问题为驱动,整理和构建支撑经济管理研究的科学方法体系,不但有助于促进科学方法在经济管理研究中的应用,也有助于推动我国经济管理研究的科学化和规范化。

因此,构建经济管理科学研究方法体系,对于推进从我国经济管理实践中提炼具有中国特色的经济管理理论,并使之一般化及与世界经济管理研究和实践接轨具有重要的意义。基于这样的考虑,从2005年开始,刘顺忠和刘继红就商议推出一套能够反映国际经济管理领域最新研究方法的丛书。2010年,该提议得到武汉大学出版社的积极支持,并以丛书的形式出版一套能够反映经济管理学研究方法的图书;该提议还得到华中师范大学郑承利

副教授、中国地质大学(北京)何大义副教授、东北师范大学荣丽敏博士和中南民族大学李亚红博士的积极响应,大家都愿意为此奉献自己的力量。

本丛书的总体目标在于:初步构建起经济管理科学研究的方法论体系,为我国经济管理研究和实践工作提供方法论指导。本丛书包括:管理科学研究方法、结构方程模型理论、计量经济学理论、运筹学理论和金融学理论等多个方面。本书编委会还一致认为,“经济管理研究方法丛书”应该是一套开放的丛书,该丛书应该能够使更多的经济管理方法论研究学者加入进来,使丛书不断发展,为我国经济管理方法论的建设添砖加瓦。

经济管理研究方法丛书编委会

前 言

运筹学 (Operations Research) 是 20 世纪 40 年代初发展起来的一门新兴学科, 其主要目的是为管理人员提供决策的科学依据, 是实现有效管理、正确决策和现代化管理的重要方法之一。运筹学主要研究社会生活、经济管理、军事等活动中能用数量来表达的有关策划、管理方面的问题。随着运筹学理论与实践的发展, 运筹学的许多内容已经深入到日常生活中。运筹学可以根据问题的要求, 通过数学上的分析、运算, 得出各种各样的结果, 最后提出综合性的合理安排, 以达到最好的效果。随着科学技术和生产的发展, 运筹学方法已渗入很多领域里, 发挥了越来越重要的作用。运筹学本身也在不断发展, 其分支逐渐增多。比如: 数学规划 (又包含线性规划、非线性规划、整数规划、组合规划等)、图论、网络流、决策分析、排队论、可靠性数学理论、库存论、博弈论、搜索论、模拟等。

运筹学有着广阔的应用领域, 它已渗透到诸如服务、经济、库存、搜索、人口、对抗、控制、时间表、资源分配、厂址定位、能源、设计、生产、可靠性等各个方面。运筹学是软科学中“硬度”较大的一门学科, 是系统工程和现代管理科学的理论基础和不可或缺的方法、手段与工具。运筹学已被应用到各种管理工程中, 在现代化建设中发挥着重要作用。

本书是笔者在多年课程教学和科研实践的基础上, 充分结合教学过程的经验和心得, 并考虑管理的特点与需求而编写的。编写时在内容上力求深入浅出, 方法上着重思路的直观解释, 而且对应用相关软件求解运筹学问题进行了讲解, 以便简化问题的求解过程, 提高学习效率。在本书的编写过程中, 参考了较多国内外流行的运筹学相关教材和专著, 在此对这些作者表示衷心的感谢。同时也要感谢本系列书编委的推荐和武汉大学出版社的大力支持。但是, 并不排除书中存在着不足, 期待读者不吝指正, 以便我们进一步完善。

何大义

2017 年 11 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 运筹学的发展历程	1
1.2 运筹学的性质和特点	2
1.3 运筹学的模型与应用	3
第二章 线性规划	5
2.1 线性规划问题及其数学模型	5
2.1.1 问题的提出	5
2.1.2 线性规划问题的一般形式	7
2.2 线性规划问题的图解方法	8
2.3 线性规划问题的单纯形解法	9
2.3.1 线性规划问题的标准形式	10
2.3.2 单纯形法的基本思路	12
2.3.3 单纯形表	16
2.3.4 单纯形法的求解过程中可能遇到的问题	20
2.4 线性规划的对偶理论	25
2.4.1 单纯形法的矩阵描述	25
2.4.2 对偶问题的提出	27
2.4.3 对偶问题的基本性质	30
2.4.4 对偶单纯形法	32
2.4.5 对偶问题的经济解释	34
2.5 线性规划的灵敏度分析	34
2.5.1 资源向量的变化	35
2.5.2 技术系数的变化	37
2.5.3 价值系数的变化	39
2.6 线性规划问题的软件求解方法	40
2.6.1 Excel 解法	40

2.6.2	LINGO 解法	44
2.7	运输问题	47
2.7.1	运输问题的模型	47
2.7.2	运输问题的表上作业解法	49
2.7.3	表上作业法的进一步讨论	55
2.7.4	运输问题的软件求解	57
2.8	线性规划在管理中的应用实例	61
2.8.1	线性规划问题	61
2.8.2	运输问题	64
第三章	整数规划	68
3.1	整数规划问题及其一般解法	68
3.1.1	整数规划问题	68
3.1.2	分支定界解法	70
3.1.3	割平面法	73
3.2	指派问题及其解法	77
3.3	整数规划的软件求解	82
3.3.1	Excel 求解方法	82
3.3.2	LINGO 求解方法	83
3.4	整数规划的应用实例	83
第四章	目标规划	90
4.1	目标规划的数学模型	90
4.2	目标规划的图解法	93
4.3	目标规划的单纯形法	96
4.4	目标规划应用举例	99
第五章	动态规划及其应用	101
5.1	动态规划的基本概念	101
5.1.1	引例	101
5.1.2	动态规划中的术语	104
5.2	动态规划的求解原理	106
5.2.1	动态规划的逆序解法	107
5.2.2	动态规划的顺序解法	109

5.2.3 动态规划的基本思想	111
5.3 动态规划的典型应用	112
5.3.1 动态规划的一般化应用	112
5.3.2 资源分配问题	115
5.3.3 生产计划问题	121
5.3.4 背包问题	124
5.3.5 不确定采购问题	128
第六章 图与网络分析	131
6.1 图的基本概念	131
6.2 树与最小支撑树	136
6.2.1 树的定义及其性质	136
6.2.2 图的支撑树	137
6.2.3 最小支撑树问题	139
6.3 最短路问题	143
6.3.1 非负权网络的最短路求法	144
6.3.2 有负权网络的最短路求法	151
6.4 网络最大流问题	153
6.4.1 基本概念与基本定理	154
6.4.2 求解网络最大流的标号法	156
6.5 最小费用最大流问题	162
6.6 中国邮递员问题	166
第七章 网络计划与优化	169
7.1 网络计划	169
7.1.1 网络图的绘制	169
7.1.2 时间参数的计算与关键路线的确定	172
7.2 网络优化	179
7.2.1 工期优化	179
7.2.2 资源优化	179
7.2.3 时间-费用优化	182
第八章 决策分析方法	186
8.1 决策分析的基本概念	186

8.1.1	决策问题概述	186
8.1.2	决策的过程	187
8.1.3	决策的分类	188
8.2	不确定型决策	190
8.2.1	悲观主义准则	190
8.2.2	乐观主义准则	191
8.2.3	折衷主义准则	192
8.2.4	等可能性准则	193
8.2.5	最小后悔值准则	193
8.3	风险型决策	194
8.3.1	最大期望收益准则	194
8.3.2	最小期望后悔值准则	196
8.3.3	Bayes 决策方法	197
8.4	决策分析方法的进一步讨论	202
8.4.1	概率灵敏度分析	202
8.4.2	序列决策	203
8.4.3	效用理论及在决策分析中的应用	204
8.5	层次分析法	208
8.5.1	层次分析法的原理	208
8.5.2	层次分析法的计算过程	211
8.6	多属性决策方法	214
8.6.1	多属性决策问题的基本概念	214
8.6.2	属性数据的规范化处理	216
8.6.3	属性权重确定的常用方法	218
8.6.4	多属性决策的常用方法	223
第九章	对策分析	228
9.1	对策分析的基本概念	228
9.1.1	对策模型的基本要素	229
9.1.2	对策问题建模举例	231
9.1.3	对策的分类	234
9.1.4	矩阵对策的数学模型	234
9.2	矩阵对策的纯策略均衡	235
9.3	矩阵对策的混合策略均衡	237

9.3.1	混合策略的概念	237
9.3.2	矩阵对策中的优越原则	239
9.3.3	混合策略的图解法	240
9.3.4	混合策略的线性规划解法	243
9.4	矩阵对策分析的典型应用	245
9.5	其他类型的对策问题简介	248
9.5.1	完全信息静态对策	249
9.5.2	完全信息动态对策	250
9.5.3	不完全信息静态对策	251
9.5.4	不完全信息动态对策	252
第十章	存储论	254
10.1	存储模型的基本概念	254
10.1.1	存储系统模型	255
10.1.2	存储模型的基本概念	255
10.2	确定性存储模型	257
10.2.1	模型一: 不允许缺货, 备货时间很短	257
10.2.2	模型二: 不允许缺货, 备货需要一定时间	260
10.2.3	模型三: 允许缺货, 备货时间很短	262
10.2.4	模型四: 允许缺货, 备货需要一定时间	264
10.2.5	其他确定性存储模型	266
10.3	随机性存储模型	268
10.3.1	模型五: 需求是随机离散	269
10.3.2	模型六: 需求是连续的随机变量	272
10.3.3	模型七: (s, S) 型存储策略	275
第十一章	排队论	277
11.1	排队模型的基本结构	277
11.1.1	基本的排队过程	277
11.1.2	排队系统的组成和特征	278
11.1.3	排队模型的表示方法	280
11.1.4	排队系统的运行指标	281
11.2	生灭过程	283
11.2.1	顾客到达过程	283

11.2.2	服务时间的分布	285
11.2.3	生灭过程的表示方法	287
11.3	基于生灭过程的排队模型	288
11.3.1	标准的 $M/M/1$ 模型	288
11.3.2	系统容量有限的 $M/M/1/N/\infty$ 模型	293
11.3.3	顾客源有限的 $M/M/1/\infty/m$ 模型	295
11.3.4	标准的 $M/M/c$ 模型	298
11.3.5	系统容量有限的 $M/M/c/N/\infty$ 模型	301
11.3.6	顾客源为有限的 $M/M/c/\infty/m$ 模型	302
11.4	一般服务时间 $M/G/1$ 模型	303
11.4.1	Pollaczek-Khintchine (P-K) 公式	303
11.4.2	定长服务时间 $M/D/1$ 模型	304
11.4.3	爱尔朗服务时间 $M/E_k/1$ 模型	305
11.5	排队系统的优化	306
11.5.1	$M/M/1$ 模型中最优服务率 μ	307
11.5.2	$M/M/c$ 模型中最优服务台数 c	309
参考文献		310

第一章 绪 论

内容提要 运筹的思想与实践历史源远流长，但它的理论体系初步形成于 20 世纪 40 年代，并随着信息技术的发展在 20 世纪 80 年代后迎来了快速发展。运筹学是以系统为研究对象的，属于应用学科范畴，它利用数学模型将所要研究的问题模型化，以量化分析方法求得问题的最优解。运筹学已经形成了包含线性规划、非线性规划、整数规划、动态规划、多目标规划、网络分析、排队论、对策论、决策论、存储论、可靠性理论、投入产出分析等分支的庞大的理论与方法体系，并广泛地应用于社会生活实践之中。

1.1 运筹学的发展历程

运筹学是用于解决在工业、商业和行政管理中的问题的一种数量方法，着重于应用数学中的某些方法来制订上述部门的决策已有多年的历史。在第二次世界大战中英国和美国开始将数学家、统计学家、心理学家、物理学家和其他科学家联合组成小组，共同研究处理开发应用方面的总体战略等问题。如关于在敌方领土空降后为保存战斗力所需人力和物资的计算，以及经济被封锁时居民对食品的需求，就是运筹学研究应用的两个例子。至于和平时期的应用，已在世界多数国家广泛开展，这将在本书以后各章中叙述。

运筹的思想与实践源远流长，但是现在人们普遍认为，运筹学的活动开始于第二次世界大战初期的军事任务。当时由于迫切需要把各项稀少的资源以有效的方式分配给各种不同的军事作业以及在每一作业内的各项活动，英国及随后美国的军事管理当局都号召大批的科学家运用科学手段来处理战略与战术问题，实际上这便要求他们对各种军事作业进行研究，这些科学家小组就是最早的运筹小组。这些小组创造的有效使用雷达工具的新方法，对英国空军在战役中取胜发挥了重要作用。通过研究如何更好地操作护送，更高

效地进行反潜作业，这些小组在北大西洋舰队反潜战中发挥了重要作用。在之后的太平洋岛屿的战役中也起到了同样的重要作用。

战争结束后，运筹学在战争中获得的成功引起了军事行业以外的其他行业应用运筹学的兴趣。当第二次世界大战后的工业恢复繁荣时，由于组织内与日俱增的复杂性和专门化所产生的问题，使人们认识到这些问题基本上与战争中所面临的问题类似，只是具有不同的现实环境而已，运筹学就这样被引入工商企业和政府，在 20 世纪 50 年代以后得到了广泛的应用。

另外，至少还有两个因素对运筹学的快速发展起到了重要作用。

一是在改进运筹学方法方面有了实质性的进步。战后许多参加运筹学小组或者听说过这项工作的科学家都注意对相关领域进行研究，这直接促进了运筹学方法技术的巨大进步。1947 年，George Dantzig 提出了用单纯形法解决线性规划问题的一般数学模型。20 世纪 50 年代末，运筹学的许多基本理论和工具都已形成，比如线性规划、动态规划、排队论和存储论等。

另一个重要因素来自于电子计算机革命对运筹学发展所带来的巨大推动。运筹学中的复杂问题通常需要有效地处理大量的计算工作，手工来完成这些工作显然是繁琐的。借助计算机的能力完成数学计算要比手工计算快几千几万倍甚至亿倍，显然计算机的发展对运筹学研究起到了极大的促进作用。随着 20 世纪 80 年代个人计算机及相关软件的快速普及，进一步推动了运筹学的发展，这使运筹学更易于被人们所掌握和使用。

1.2 运筹学的性质和特点

运筹学的第一个特点是它运用的研究方法类似于其他科学领域里的任何科学方法。在相当程度上，是运用科学的方法对所关注的问题进行调查。运筹学的运筹过程开始于仔细地观察和阐明问题，同时收集所有相关数据；接下来构建一个可以概括真正问题本质的数学模型；然后假设这个模型可以充分精确地表示问题的本质特性，并且从模型中获得的结论也是有效的；最后用适当的案例来验证这种假设，并且按照需求调整，最终证明这种假设是正确的。在某种意义上，运筹学包括对业务的基本特性进行创新性的科学研究。然而，运筹学所涉及的内容还不止这些，运筹学也参与组织的实际管理。为了成功，运筹学还必须为决策者提供他们所需要的正确的、可读懂的结论。

运筹学的研究对象是系统。系统是一个容易理解但很难确切定义的名

词。按时将货物从仓库运往各企业用户的一个车队构成一个系统，医院里的外科医生和一起工作的麻醉师、护士长、护士及他们应用的设备也构成一个系统……在企业中对系统行为的研究通常包含对有关各个子系统的研究：工厂中的生产线可看做是一类相同的系统，生产线的变化会引起原材料供应、劳动力雇佣的变化，还可能引起制成品的库存变化。所以，实质上系统可以看做是前面提到的工业、商业和行政管理中的一种组合，这个组合包含人们共同的有目的的活动以及进行活动时用到的物质手段。显然，这样的系统与被称为子系统的其他系统互相结合，并得到子系统的支持。

上面描述的系统与子系统不可能放在像自然科学中那样的实验室里直接进行试验。例如准备生产一种新产品，可以在武汉、成都、昆明三地中选一个地方建厂，企业不可能在这三地分别建厂进行实验比较，从而做出最佳选择。这类问题普遍存在于现实之中，它们都适合用运筹学的方法进行研究，运筹学通过建立模型来对问题进行观察研究。可见，运筹学是以解决实际问题为导向的，是一门应用学科。

1.3 运筹学的模型与应用

运筹学在解决实际问题时，一般会遵循一定的工作步骤，从而实现具体问题的模型化。运筹学的工作步骤如下：

(1) 提出和形成问题。弄清问题的目标、可能的约束、问题的可控变量和有关参数，搜集有关资料。

(2) 建立模型。将问题中的可控变量、参数、目标和约束间的关系用一定模型加以表示。

(3) 模型求解。用各种手段和方法求解模型，得到模型的解，如最优解、次优解、满意解等。

(4) 解的检验。检查解的求解过程和结果有无错误，能否反映现实问题。

(5) 解的控制。通过对解的控制来实现对问题目标的调整和控制。

(6) 解的实施。

运筹学模型建立的目的是为了实最优化，也即在满足一组特定条件下计算最优值。所以，运筹学通常是定量模型，其基本形式包含一个（或多个）目标和一系列的约束条件，即

$$\text{Opt } f(x, c, \xi),$$

$$\text{s.t. } g_i(x, c, \xi) \geq 0.$$

运筹学的发展历史尽管不长,但是其内容丰富,涉及面广,应用范围大,已形成了一个相当庞大的学科。它的主要内容一般包含线性规划、非线性规划、整数规划、动态规划、多目标规划、网络分析、排队论、对策论、决策论、存储论、可靠性理论、投入产出分析等。

上述的前5个部分(即线性规划、非线性规划、整数规划、动态规划和多目标规划)统称为规划论,主要解决两个方面的问题:一是对于给定的人力、物力和财力,怎样才能发挥它们的最大效益;二是对于给定的任务,怎样才能用最少的人力、物力和财力去完成它。

网络分析主要是研究解决生产组织、计划管理中诸如最短路径、最大流量、最小费用、最优分派等问题。

排队现象在日常生活中十分常见,如机器等待维修、顾客等待服务、病人等待手术等,它们有一个共同的问题,即等待时间长了,会影响生产任务的完成,或者顾客会自动离去而影响经济效益;如果增加修理工、服务台等,固然能解决等待时间过长的問題,但又会增加企业的运营成本。这类问题的妥善解决是排队论研究的内容。

对策论是研究具有利害冲突的各方,如何制定对自己有利从而战胜对手的斗争策略。如战国时代田忌赛马就是对策论的典型例子。

决策问题是普遍存在的,凡属于举棋不定的事情都必须做出决策,人们之所以举棋不定是因为人们在着手实现某个预期目标时,出现了多种情况,有多种行动方案可供选择,决策者如何从中选择一个最优方案,以达到他的预期目标,这是决策论研究的任务。

人们在生产和消费过程中,都必须储备一定数量的原材料、半成品或商品。存储少了会因停工待料或失去销售机会而遭受损失,存储多了又会造成资金积压、原材料和商品的损耗。因此,如何确定合理的存储量、购货批量和购货周期至关重要,这便是存储论的研究内容。

一个复杂的系统和设备往往是由成千上万个工作单元或零件组成的,这些单元或零件的质量如何,将直接影响到系统或设备的工作性能是否稳定可靠,研究如何保证系统或设备的工作可靠性就是可靠性理论的内容。

投入产出分析是通过研究多个部门的投入产出所必须遵守的综合平衡原则来制定各个部门的发展计划,借以从宏观上控制、调整国民经济,以便国民经济协调合理地发展。

运筹学的研究内容之间具有一定的独立性,有些内容已经充分发展并成为独立的分支,而且运筹学还在不断地发展和完善,其理论与方法也必将得到更广泛、更深入的推广与运用。